

TESIS

**OPTIMASI PENENTUAN LOKASI PENEMPATAN
DISTRIBUTED GENERATION MENGGUNAKAN
METODE HYBRID FLOWER POLLINATION
ALGORITHM (FPA) DAN β -HILL CLIMBING**

*Optimization of determining the location of distributed generation
using the hybrid flower pollination (FPA) algorithm and the β -hill
climbing method*

M. SAHRUL RAMADHAN

D032202009



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

PENGAJUAN TESIS

**OPTIMASI PENENTUAN LOKASI PENEMPATAN DISTRIBUTED
GENERATION MENGGUNAKAN METODE HYBRID FLOWER
POLLINATION ALGORITHM (FPA) DAN β -HILL CLIMBING**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister
Program Studi Teknik Elektro

Disusun dan diajukan oleh

M. SAHRUL RAMADHAN
D032202009

kepada

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

TESIS

**OPTIMASI PENENTUAN LOKASI PENEMPATAN
DISTRIBUTED GENERATION MENGGUNAKAN
METODE HYBRID FLOWER POLLINATION
ALGORITHM (FPA) DAN β -HILL CLIMBING**

**M. SAHRUL RAMADHAN
D032202009**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

pada tanggal 05 Juni 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



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



Dr. Ir. Rhiza S. Sadjad, MSEE
NIP. 19570906198203 1 004

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., IPM
NIP. 19730926 2000 121 002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Elektro



Dr. Eng. Ir. Wardi, S.T., M.Eng
NIP. 19720828 199903 1 003

**PERNYATAAN KEASLIAN TESIS
DAN PERLIMPAHAN HAK CIPTA**

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M. Sahrul Ramadhan
NIM : D032202009
Program Studi : Magister Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul **“Optimasi Penentuan Lokasi Penempatan Distributed Generation Menggunakan Metode Hybrid Flower Pollination Algorithm (FPA) Dan β -Hill Climbing”** adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Ardiaty Arief, S.T., MTM., Ph. D sebagai Pembimbing Utama dan Dr. Ir. Rhiza S. Sadjad, MSEE sebagai Pembimbing Pendamping). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 25 Juli 2023



M. Sahrul Ramadhan

KATA PENGANTAR



Segala puji penulis ucapkan ke hadirat Allah SWT atas segala nikmat dan karunia yang telah diberikan, sehingga penelitian yang berjudul “Optimasi Penentuan Lokasi Distributed Generation dengan Metode Hybrid Flower Pollination Algoritim (FPA) dan β -hill climbing” dapat dilaksanakan.

Tujuan dari penulisan tesis ini untuk memenuhi syarat dalam mencapai untuk mencapai gelar magister pada Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Hasanuddin.

Di dalam proses penulisan tesis ini, penulis banyak mendapat bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak sehingga penulisan tesis ini dapat terlaksana. Untuk itu, perkenankan penulis dengan segala kerendahan hati untuk menyampaikan rasa terimakasih yang sedalam-dalamnya dan semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, terkhusus kepada kedua orangtua dan saudara penulis yang telah memberikan bantuan moril maupun materil, dengan doa mereka maka penulis dapat berhasil sampai sekarang ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih banyak kepada berbagai pihak yang telah banyak mendukung dalam perjalanan studi penulis, diantaranya:

1. Dr. Eng. Wardi, S.T., M.Eng. selaku ketua program studi S2 Teknik Elektro Universitas Hasanuddin
2. Ardiaty Arief, S.T.,MTM., Ph. D selaku dosen pembimbing I.
3. Dr. Ir. Rhiza S. Sadjad, MSEE selaku dosen pembimbing II.
4. Prof. Dr. Ir. Salama, M.T., Prof. Dr. Ir. Ansar Suyuti, M.T., dan Dr. Ikhlas Kitta, ST.MT selaku dosen penguji.
5. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Elektro FT UNHAS yang telah banyak memberikan bekal ilmu pengetahuan.
6. dan pihak-pihak lainnya yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Diharapkan, Tesis ini bisa bermanfaat untuk semua pihak dan dapat menjadi suatu kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan. Selain itu, kritik dan saran

yang membangun sangat penulis harapkan dari para pembaca sekalian agar tugas akhir ini bisa lebih baik lagi.

Makassar, 25 Juli 2023

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'M. Sahrul Ramadhan', written in a cursive style with a horizontal line underneath.

M. Sahrul Ramadhan

ABSTRAK

M. SAHRUL RAMADHAN, *Optimasi Penentuan Lokasi Penempatan Generation Menggunakan Metode Hybrid Flower Pollination Algorithm (FPA) Dan β -Hill Climbing* (dibimbing oleh **Ardiaty Arief** dan **Rhiza S. Sadjad**).

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi lokasi penempatan *distributed generation* dengan meminimalkan rugi-rugi jaringan dan memaksimalkan keluaran daya aktif DG dalam sistem distribusi radial menggunakan metode *hybrid flower pollination algorithm* (FPA) dan *β -hill climbing*. Penelitian dilakukan menggunakan data sistem distribusi Penyulang Antang Gardu Induk Tello, Penyulang Palisi Gardu Induk Mandai, IEEE 33, dan 69 bus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa optimasi penempatan serta kapasitas multi DG pada sistem Penyulang Antang Gardu Induk Tello yang awalnya 133 kW menjadi 48 kW atau sebesar 63,9%. Pada penyulang Palisi Gardu Induk Mandai dengan penempatan multi DG dapat mengurangi rugi-rugi daya totalnya sebesar 332.6 kW menjadi sebesar 113.5 kW atau sebesar 65%. Pada sistem IEEE 33 bus dapat mengurangi rugi-rugi daya total awalnya sebesar 201.8 kW menjadi 69.3 kW atau sebesar 67% dengan perbaikan profil tegangan pada bus terendah dari 0.91 p.u menjadi 0.97 p.u, pada sistem IEEE 69 bus dapat mengurangi rugi-rugi daya total awalnya sebesar 224.5 kW menjadi 68.6 kW atau sebesar 69% dengan perbaikan profil tegangan pada bus terendah dari 0.91 p.u menjadi 0.98 p.u, Dari keempat sistem distribusi yang digunakan dalam penelitian ini dengan metode optimasi HYFPABHC lebih baik dari kedua metode yang lain yaitu FPA dan BHC dalam posisi penempatan DG dan lebih sedikit iterasi yang digunakan untuk mendapatkan nilai konvergen.

Kata kunci: *Distributed Generation*, Optimasi Posisi dan Kapasitas DG, *hybrid flower pollination algorithm* (FPA) dan *β -hill climbing*.

ABSTRACT

M. SAHRUL RAMADHAN, *Optimization of Determining the Location of Distributed Generation Placement Using the Hybrid Flower Pollination Algorithm (FPA) and β -Hill Climbing Methods* (supervised by **Ardiaty Arief** and **Rhiza S. Sadjad**).

This study aims to optimize the placement location distributed generation by minimizing network losses and maximizing the active power output of DG in a radial distribution system using the method hybrid flower pollination algorithm (FPA) and β -hill climbing. The research was conducted using the distribution system data of Tello Substation Antang Feeder, Mandai Substation Palisi Feeder, IEEE 33, and 69 buses. The results showed that optimization of placement and multi DG capacity in the Tello Substation Antang Feeder system, which was originally 133 kW, became 48 kW or 63,9%. In the feeder Palisi Mandai Substation with the placement of multi DG can reduce the total power losses of 332.6 kW to 113.5 kW or 65%. In the IEEE 33 bus system it can reduce the initial total power losses of 201.8 kW to 69.3 kW or 67% by improving the voltage profile at the lowest bus from 0.91 p.u to 0.97 p.u, in the IEEE 69 bus system it can reduce the initial total power losses of 224.5 kW to 68.6 kW or 69% with an improvement in the voltage profile at the lowest bus from 0.91 p.u to 0.98 p.u. Of the four distribution systems used in this study, the HYFPABHC optimization method is better than the other two methods, namely FPA and BHC in position DG placement and fewer iterations used to get convergent values.

Keywords: Distributed Generation, DG Position and Capacity Optimization, hybrid flower pollination algorithm (FPA) and β -hill climbing.

DAFTAR ISI

PENGAJUAN TESIS	i
PERSETUJUAN TESIS	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah.....	3
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Batasan Masalah	4
I.5 Manfaat Penelitian	4
I.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
II.1 Sistem Tenaga Listrik	6
II.2 Sistem Pembangkit Tenaga Listrik	6
II.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	7
II.4 <i>Distributed generation</i> (DG).....	8
II.5 Analisis Aliran Daya.....	9
II.6 Backward and Forward Sweep (BFS).....	10
II.7 Flower Pollination Algorithm (FPA).....	11
II.8 Algoritma β -Hill Climbing.....	13
II.9 Kerangka Pikir	15
II.10 State of The Art Penelitian.....	16
BAB III METODE PENELITIAN	20
III.1 Jenis penelitian.....	20
III.2 Software yang Digunakan.....	20

III.3	Sumber Data.....	20
III.4	Waktu dan Lokasi Penelitian	29
III.5	Diagram penelitian.....	30
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		32
IV.1	Sistem Distribusi Penyulang Antang Gardu Induk Tello	32
IV.1.1	Studi aliran daya Penyulang Antang Gardu Induk Tello	32
IV.1.2	Penempatan Distributed Generation pada sistem distribusi radial penyulang Antang Gardu Induk Tello	34
IV.1.2.1	Pengujian single DG	34
IV.1.2.2	Pengujian multi DG (2 DG).....	36
IV.1.2.3	Pengujian multi DG (3 DG).....	37
IV.1.2.4	Pengujian multi DG (4 DG).....	39
IV.1.3	Perencanaan PLTS sebagai distributed generation (DG).....	41
IV.1.3.1	Iradiasi matahari dan temperatur	41
IV.1.3.2	Perhitungan Area Array dan perhitungan energi listrik yang disuplai dari PLTS.....	41
IV.1.3.3	Perhitungan area array pada penyulang Antang Gardu Induk Tello ...	41
IV.1.3.4	Perhitungan daya yang akan dibangkitkan PLTS	42
IV.1.3.5	Perhitungan daya yang akan dibangkitkan pada penyulang Antang Gardu Induk tello	42
IV.1.3.6	Perhitungan jumlah Panel Surya.....	43
IV.1.3.7	Perhitungan jumlah solar charge controller	44
IV.1.3.8	Spesifikasi dan jumlah baterai	45
IV.1.3.9	Spesifikasi dan jumlah inverter.....	46
IV.1.4	Layout PLTS sebagai Distributed Generation (DG).....	47
IV.1.4.1	Lokasi Penempatan DG pada penyulang Antang Gardu Induk Tello .	47
IV.1.4.2	Model rancangan PLTS sebagai Distributed Generation	48
IV.1.5	Analisis kelayakan ekonomi penempatan DG yang optimal	48
IV.1.5.1	Evaluasi biaya investasi	48
IV.1.5.2	Penghematan dari pengurangan rugi-rugi daya pada sistem	51
IV.1.5.3	Metode Analisa Net present value (NPV)	51
IV.1.5.4	Metode Analisa Internal Rate Of Return (IRR).....	53

IV.1.5.5 Metode Analisa Profitability Ratio (PR)	55
IV.1.5.6 Metode Analisa Payback Period (PBP)	56
IV.2 Sistem Distribusi Penyulang Palisi Gardu Induk Mandai.....	57
IV.2.1 Studi aliran daya Penyulang Palisi Gardu Induk Mandai	57
IV.2.2 Penempatan Distributed Generation pada sistem distribusi penyulang Palisi Gardu Induk Mandai	60
IV.2.2.1 Pengujian single DG	60
IV.2.2.2 Pengujian multi DG (2 DG).....	62
IV.2.2.3 Pengujian multi DG (3 DG).....	63
IV.2.2.4 Pengujian multi DG (4 DG).....	65
IV.2.3 Perencanaan PLTS sebagai distributed generation (DG).....	67
IV.2.4.1 Iradiasi matahari dan temperatur	67
IV.2.4.2 Perhitungan Area Array dan perhitungan energi listrik yang disuplai dari PLTS.....	67
IV.2.4.3 Perhitungan area array pada penyulang Palisi Gardu Induk Mandai...68	
IV.2.4.4 Perhitungan daya yang akan dibangkitkan PLTS	68
IV.2.4.5 Perhitungan daya yang akan dibangkitkan pada penyulang Palisi Gardu Induk Mandai	68
IV.2.4.6 Spesifikasi dan jumlah baterai	70
IV.2.4 Layout PLTS sebagai Distributed Generation (DG).....	72
IV.2.4.1 Lokasi Penempatan DG pada penyulang Palisi Gardu Induk Mandai.72	
IV.3 Sistem Distribusi IEEE 33 bus.....	73
IV.3.1 Studi aliran daya Sistem Distribusi IEEE 33 bus.....	73
IV.3.2 Penempatan Distributed Generation pada sistem IEEE 33 bus	75
IV.3.2.1 Pengujian single DG	75
IV.3.2.2 Pengujian multi DG (2 DG).....	76
IV.3.2.3 Pengujian multi DG (3 DG).....	78
IV.3.2.4 Pengujian multi DG (4 DG).....	79
IV.4 Sistem Distribusi IEEE 69 Bus	81
IV.4.1 Studi aliran daya Sistem Distribusi IEEE 69 bus	81
IV.4.2 Penempatan Distributed Generation pada sistem IEEE 69 bus	84
IV.4.2.1 Pengujian single DG	84

IV.4.2.2 Pengujian multi DG (2 DG).....	86
IV.4.2.3 Pengujian multi DG (3 DG).....	87
IV.4.2.4 Pengujian multi DG (4 DG).....	89
IV.5 Pengujian konsistensi metode optimasi	90
IV.5.1 Pengujian sistem distribusi Penyulang Antang Gardu Induk Tello.....	91
IV.5.1.1 Pengujian konsistensi menggunakan metode FPA	91
IV.5.1.2 Pengujian konsistensi menggunakan metode BHC	91
IV.5.1.3 Pengujian konsistensi menggunakan metode HYFPABHC	92
IV.5.2 Pengujian sistem distribusi Penyulang Palisi Gardu Induk Mandai	93
IV.5.2.1 Pengujian konsistensi menggunakan metode FPA	93
IV.5.2.2 Pengujian konsistensi menggunakan metode BHC	93
IV.5.2.3 Pengujian konsistensi menggunakan metode HYFPABHC	93
IV.5.3 Pengujian sistem distribusi radial 33 bus.....	94
IV.5.3.1 Pengujian konsistensi menggunakan metode FPA	95
IV.5.3.2 Pengujian konsistensi menggunakan metode BHC	95
IV.5.3.3 Pengujian konsistensi menggunakan metode HYFPABHC	95
IV.5.4 Pengujian sistem distribusi radial 69 bus.....	96
IV.5.4.1 Pengujian konsistensi menggunakan metode FPA	96
IV.5.4.2 Pengujian konsistensi menggunakan metode BHC	97
IV.5.4.3 Pengujian konsistensi menggunakan metode HYFPABHC	97
IV.6 Perbandingan efisiensi metode optimasi.....	98
IV.7 Validasi dan verifikasi model	99
IV.7.1 Perhitungan manual profil tegangan pada setiap Bus.....	99
IV.7.2 Perhitungan Aliran daya penempatan Distributed generation	107
IV.8 Perbandingan hasil penelitian dari penelitian sebelumnya	110
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	112
V.1 Kesimpulan	112
V.2 Saran	113
DAFTAR PUSTAKA.	114
LAMPIRAN	118

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Diagram satu garis sistem distribusi (Sumber: Imran dkk., 2019)	7
Gambar 2 Diagram satu garis aliran daya (Sumber: Rupa et al., 2014)	10
Gambar 3 Flowchart Flower Pollination Algorithm (Sumber: (Alyasseri et al., 2018)	13
Gambar 4 Flowchart Algoritma β -Hill Climbing (Sumber:(Alomari et al., 2018))	15
Gambar 5 Diagram Penelitian	30
Gambar 6 Single Line Diagram Sistem Distribusi Radial penyulang antang gardu induk Tello.	32
Gambar 7 Grafik profil tegangan sebelum dan sesudah pemasangan single DG Penyulang Antang Gardu Induk Tello	35
Gambar 8 Grafik profil tegangan sebelum dan sesudah pemasangan multi DG (2 DG) Penyulang Antang Gardu Induk Tello	37
Gambar 9 Grafik profil tegangan sebelum dan sesudah pemasangan multi DG (3 DG) Penyulang Antang Gardu Induk Tello	39
Gambar 10 Grafik profil tegangan sebelum dan sesudah pemasangan multi DG (4 DG) Penyulang Antang Gardu Induk Tello	40
Gambar 11 Lokasi penempatan PLTS sebagai DG pada bus 5	47
Gambar 12 Lokasi penempatan PLTS sebagai DG pada bus 8	47
Gambar 13 Diagram garis tunggal rancangan PLTS sebagai Distributed Generation	48
Gambar 14 Single Line Diagram Sistem Distribusi Radial 56 Bus penyulang Palisi gardu induk Mandai	58
Gambar 15 Grafik profil tegangan sebelum dan sesudah pemasangan single DG Penyulang Palisi Gardu Induk Mandai	61
Gambar 16 Grafik profil tegangan sebelum dan sesudah pemasangan multi DG (3 DG) Penyulang Palisi Gardu Induk Mandai	63
Gambar 17 Grafik profil tegangan sebelum dan sesudah pemasangan multi DG (3 DG) Penyulang Palisi Gardu Induk Mandai	65
Gambar 18 Grafik profil tegangan sebelum dan sesudah pemasangan multi DG (4 DG) Penyulang Palisi Gardu Induk Mandai	66
Gambar 19 Lokasi penempatan PLTS sebagai DG pada bus 11	72
Gambar 20 Lokasi penempatan PLTS sebagai DG pada bus 26	72
Gambar 21 Lokasi penempatan PLTS sebagai DG pada bus 37	72
Gambar 22 Lokasi penempatan PLTS sebagai DG pada bus 51	73
Gambar 23 Single Line Diagram Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus	73
Gambar 24 Grafik profil tegangan sebelum dan sesudah pemasangan single DG IEEE 33 bus	76
Gambar 25 Grafik profil tegangan sebelum dan sesudah pemasangan multi DG (2 DG) IEEE 33 bus	77
Gambar 26 Grafik profil tegangan sebelum dan sesudah pemasangan multi DG (3 DG) IEEE 33 bus	79

Gambar 27 Grafik profil tegangan sebelum dan sesudah pemasangan multi DG (4 DG) IEEE 33 bus	81
Gambar 28 Single Line Diagram Sistem Distribusi Radial IEEE 69 Bus.....	82
Gambar 29 Grafik profil tegangan sebelum dan sesudah pemasangan single DG IEEE 69 bus	85
Gambar 30 Grafik profil tegangan sebelum dan sesudah pemasangan multi DG (2 DG) IEEE 69 bus	87
Gambar 31 Grafik profil tegangan sebelum dan sesudah pemasangan multi DG (3 DG) IEEE 69 bus	88
Gambar 32 Posisi penempatan multi DG (2 DG) pada sistem distribusi Penyulang Antang Gardu Induk Tello menggunakan metode HYFPABHC.....	92
Gambar 33 Posisi penempatan multi DG (4 DG) pada sistem distribusi Penyulang Palisi Gardu Induk Mandai menggunakan metode HYFPABHC.....	94
Gambar 34 Posisi penempatan multi DG (3 DG) pada sistem distribusi radial 33 bus menggunakan metode HYFPABHC.....	96
Gambar 35 Posisi penempatan multi DG (3 DG) pada sistem distribusi radial 69 bus menggunakan metode HYFPABHC.....	98
Gambar 36 Grafik Hasil perbandingan efisiensi metode optimasi.....	98

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Klasifikasi distributed generation (DG) berdasarkan Kapasitas Pembangkitan (Santosa dkk., 2015).....	9
Tabel 2 Beberapa penelitian terkait penentuan lokasi dan kapasitas DG pada sistem Tenaga Listrik	16
Tabel 3 Data Bus sistem distribusi pada Penyulang Antang Gardu Induk Tello (Sumber data: ULP Panakkukang).....	20
Tabel 4 Data penghantar sistem distribusi pada Penyulang Antang Gardu Induk Tello (Sumber data: ULP Panakkukang)	21
Tabel 5 Data Bus sistem distribusi pada Penyulang Palisi Gardu induk Mandai	22
Tabel 6 Data penghantar sistem distribusi pada Penyulang Palisi Gardu induk Mandai.....	23
Tabel 7 Data Bus sistem distribusi IEEE 33 Bus (Sumber data: (Dolatabadi et al. 2021)).....	25
Tabel 8 Data Line sistem distribusi IEEE 33 Bus (Sumber data: (Dolatabadi et al. 2021)).....	26
Tabel 9 Data Bus sistem distribusi IEEE 69 Bus (Sumber data: (Tahir et al., 2022)).....	27
Tabel 10 Data Line sistem distribusi IEEE 69 Bus (Sumber data: (Tahir et al., 2022)).....	28
Tabel 11 Jadwal pelaksanaan penelitian.....	30
Tabel 12 Hasil Studi Aliran Daya Sistem Distribusi Radial Penyulang Antang Gardu Induk Tello	33
Tabel 13 Optimasi single DG	35
Tabel 14 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan single DG.....	35
Tabel 15 Optimasi multi DG (2 DG).....	36
Tabel 16 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan multi DG (2 DG)	36
Tabel 17 Optimasi multi DG (3 DG).....	38
Tabel 18 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan multi DG (3 DG)	38
Tabel 19 Optimasi multi DG (4 DG).....	40
Tabel 20 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan multi DG (4 DG)	40
Tabel 21 Data iradiasi matahari dan temperatur Antang 5 tahun terakhir (Sumber: Website NASA, Data Acces Viewer)	41
Tabel 22 Rincian biaya komponen PLTS.....	49
Tabel 23 Rincian biaya komponen pendukung pemasangan PLTS	49
Tabel 24 Total biaya investasi PLTS	50
Tabel 25 Penghematan biaya dari penurunan rugi-rugi daya pada sistem	51
Tabel 26 Npv pemasangan PLTS sebagai Distributed Generation	51
Tabel 27 Npv pemasangan PLTS sebagai Distributed Generation tanpa baterai.	52
Tabel 28 Internal Rate of Return (IRR) PLTS menggunakan baterai	53
Tabel 29 Internal Rate of Return (IRR) PLTS tanpa menggunakan baterai	54
Tabel 30 Parameter kelayakan investasi pemasangan PLTS	57

Tabel 31 Hasil Studi Aliran Daya Sistem Distribusi Radial Penyulang Palisi Gardu Induk Mandai	58
Tabel 32 Optimasi single DG (1 DG)	61
Tabel 33 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan single DG.....	61
Tabel 34 Optimasi multi DG (2 DG).....	62
Tabel 35 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan multi DG (2 DG)	62
Tabel 36 Optimasi multi DG (3 DG).....	64
Tabel 37 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan multi DG (3 DG)	64
Tabel 38 Optimasi multi DG (4 DG).....	66
Tabel 39 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan multi DG (4 DG)	66
Tabel 40 Data iradiasi matahari dan temperatur Mandai tahun 2022 (Sumber:Website NASA, Data Acces Viewer)	67
Tabel 41 Hasil Studi Aliran Daya Sistem Distribusi Radial 33 bus.....	74
Tabel 42 optimasi single DG	75
Tabel 43 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan single DG.....	75
Tabel 44 Optimasi multi DG (2 DG).....	77
Tabel 45 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan multi DG (2 DG)	77
Tabel 46 Optimasi multi DG (3 DG).....	78
Tabel 47 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan multi DG (3 DG)	78
Tabel 48 Optimasi multi DG (4 DG).....	80
Tabel 49 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan multi DG (4 DG)	80
Tabel 50 Hasil Studi Aliran Daya Sistem Distribusi Radial 69 bus.....	82
Tabel 51 Optimasi single DG	85
Tabel 52 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan single DG.....	85
Tabel 53 Optimasi multi DG (2 DG).....	86
Tabel 54 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan multi DG (2 DG)	86
Tabel 55 Optimasi multi DG (3 DG).....	88
Tabel 56 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan multi DG (3 DG)	88
Tabel 57 Optimasi multi DG (4 DG).....	89
Tabel 58 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan multi DG (4 DG)	89
Tabel 59 Grafik profil tegangan sebelum dan sesudah pemasangan multi DG (4 DG) IEEE 69 bus	90
Tabel 60 konsistensi metode FPA sistem distribusi Penyulang Antang Gardu Induk Tello	91
Tabel 61 konsistensi metode BHC sistem distribusi Penyulang Antang Gardu Induk Tello	91
Tabel 62 konsistensi metode HYFPABHC sistem distribusi Penyulang Antang Gardu Induk Tello	92
Tabel 63 konsistensi metode FPA sistem distribusi Penyulang Palisi Gardu Induk Mandai.....	93
Tabel 64 konsistensi metode BHC sistem distribusi Penyulang Palisi Gardu Induk Mandai.....	93
Tabel 65 konsistensi metode HYFPABHC sistem distribusi Penyulang Palisi Gardu Induk Mandai	93
Tabel 66 konsistensi metode FPA 33 bus	95

Tabel 67 konsistensi metode BHC 33 bus.....	95
Tabel 68 konsistensi metode HYFPABHC 33 bus	95
Tabel 69 konsistensi metode FPA 69 bus	96
Tabel 70 konsistensi metode BHC 69 bus.....	97
Tabel 71 konsistensi metode HYFPABHC 69 bus	97
Tabel 72 Perhitungan dalam bilangan per unit.....	108
Tabel 73 Hasil perhitungan arus dan rugi-rugi daya	109

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar sistem distribusi penyulang Antang (Sumber: ULP Panakkukang)	119
Lampiran 2. Gambar lokasi trafo bus penyulang Antang	119
Lampiran 3. Gambar layout posisi penempatan DG pada bus 5 penyulang Antang.....	120
Lampiran 4. Gambar lokasi trafo bus 8 penyulang Antang	120
Lampiran 5. Gambar layout posisi penempatan DG pada bus 42 penyulang Antang...	121
Lampiran 6. Gambar sistem distribusi penyulang Mandai.....	121
Lampiran 7. Gambar lokasi trafo bus 11 penyulang Mandai	122
Lampiran 8. Gambar layout posisi penempatan DG pada bus 11 penyulang Mandai ..	122
Lampiran 9. Gambar lokasi trafo bus 26 penyulang Mandai	123
Lampiran 10. Gambar layout posisi penempatan DG pada bus 26 penyulang Mandai	123
Lampiran 11. Gambar lokasi trafo bus 37 penyulang Mandai	124
Lampiran 12. Gambar layout posisi penempatan DG pada bus 37 penyulang Mandai	124
Lampiran 13. Gambar lokasi trafo bus 51 penyulang Mandai	125
Lampiran 14. Gambar layout posisi penempatan DG pada bus 51 penyulang Mandai	125
Lampiran 15. Gambar referensi ukuran lahan PLTS dengan kapasitas 86 kWp.....	126

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pembangkit terdistribusi atau *distributed generation* (DG) telah memperoleh banyak daya tarik di sektor listrik karena kemampuannya dalam pengurangan rugi-rugi daya, peningkatan keandalan, biaya investasi yang rendah, dan yang paling signifikan, untuk mengeksplorasi sumber daya energi terbarukan, yang menghasilkan listrik dengan emisi gas rumah kaca minimum seperti angin fotovoltaik dan turbin mikro (Tan et al., 2013). Selain itu kontribusi generator terdistribusi untuk sistem tenaga termasuk peningkatan efisiensi energi dan kualitas daya untuk keandalan dan keamanan (Pesaran et al., 2017). Sehubungan dengan kemampuannya dalam memanfaatkan sumber energi alternatif, DG memberikan masa depan yang menjanjikan untuk pembangkit listrik di jaringan listrik.

Jaringan distribusi radial dirancang untuk aliran daya satu arah dan bersifat pasif. Namun dengan penetrasi (DG), aliran listrik menjadi dua arah dan jaringan menjadi aktif. Integrasi DG ke dalam jaringan distribusi memberikan banyak tantangan diantaranya: kestabilan sistem, koordinasi proteksi, kualitas daya, *islanding*, penempatan dan ukuran yang tepat (Katyara et al., 2018).

Rugi-rugi daya pada jaringan distribusi semakin mengakibatkan kerugian ekonomi selama penyaluran daya ke konsumen. Untuk mengurangi rugi-rugi seperti itu, koneksi (DG) ke sistem distribusi telah diidentifikasi sebagai salah satu cara untuk memecahkan masalah tersebut jika ditempatkan dengan benar di jaringan (Musa, 2019).

Terdapat beberapa penelitian yang mengangkat tema optimasi penempatan dan kapasitas DG seperti yang dilakukan oleh (Al Abri., 2013), pada penelitian tersebut dilakukan optimasi DG dengan menggunakan Metode Penempatan dan Ukuran Optimal untuk meningkatkan Margin Kestabilan Tegangan, dan didapatkan kesimpulan bahwa DG ukuran dan lokasi dapat berdampak positif pada margin kestabilan tegangan. Oleh karena itu, metode optimasi dapat digunakan untuk menentukan lokasi dan ukuran unit DG, untuk mencapai target peningkatan margin kestabilan tegangan. Menurut (Sanjay et al., 2017) pada penelitian tersebut dengan

menggunakan metode *hybrid grey wolf optimizer* menunjukkan bahwa ada pengurangan rugi-rugi daya yang cukup besar dan peningkatan profil tegangan bus di seluruh jaringan.

Berdasarkan jenis injeksi daya, DG dibagi menjadi 4 tipe. Tipe pertama, (tipe 1) adalah yang membangkitkan daya nyata (daya aktif), seperti fotovoltaik. Tipe 2 adalah DG yang membangkitkan daya aktif, namun mengkonsumsi daya reaktif, seperti dengan generator induksi yang biasa ditemukan di angin turbin. Tipe 3 mampu membangkitkan daya aktif dan injeksi daya reaktif, dan dikaitkan dengan sinkron generator. Tipe 4 memberikan injeksi hanya daya reaktif, dan termasuk perangkat seperti SVC dan kondensor sinkron (Chang., 2011).

Metode *flower pollination algorithm* (FPA) adalah metode optimasi sistem berbasis proses penyerbukan (polinasi) bunga di alam. Metode FPA digunakan karena lebih efektif daripada metode yang lebih umum digunakan dalam proses optimasi seperti *genetic algorithm* (GA) dan *particle swarm optimization* (PSO)(Al-Betar et al., 2019).

FPA memiliki kelebihan dibandingkan dengan algoritma berbasis populasi lainnya, seperti mudah digunakan, parameter bebas turunan, tanpa parameter, kesederhanaan, kemampuan beradaptasi, dapat digunakan kembali, fleksibilitas, dan skalabilitas (Alyasseri et al. 2021). Oleh karena itu, beberapa masalah optimasi telah berhasil ditangani oleh FPA. Namun, seperti algoritma berbasis populasi lainnya, FPA juga memiliki kelemahan terkait dengan proses eksploitasinya. Oleh karena itu, beberapa percobaan hibridisasi telah dilakukan untuk mengatasi kelemahannya.

Dalam penelitian ini, *β -hill climbing optimizer* dihibridisasi dengan FPA sebagai metode penyempurnaan lokal untuk menekankan proses eksploitasi FPA. Tujuan utama mengusulkan *hybrid flower pollination algorithm* (FPA) dan *β -hill climbing* adalah untuk meningkatkan keseimbangan antara eksplorasi dan eksploitasi melalui proses pencarian.

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi penentuan penempatan (DG) menggunakan metode *hybrid flower pollination algorithm* dan *β -hill climbing* untuk meminimalkan rugi-rugi daya serta meningkatkan profil tegangan pada sistem. Penelitian ini akan dilakukan dengan model sistem distribusi Penyulang

Antang gardu induk Tello, Penyulang Palisi gardu induk Mandai, IEEE 33 bus dan 69 bus. Diharapkan dengan menggunakan metode *hybrid flower pollination algorithm* dan *β -hill climbing* ini, penentuan lokasi dan kapasitas DG dapat optimal sehingga menjadi efektif dan efisien.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana menerapkan metode optimasi *hybrid flower pollination algorithm* (FPA) dan *β -hill climbing* untuk penentuan lokasi dan ukuran DG yang optimal?
2. Bagaimana mengoptimalkan penempatan lokasi dan kapasitas DG untuk meminimalkan rugi-rugi jaringan dan memaksimalkan keluaran daya aktif DG dalam sistem distribusi radial menggunakan metode *hybrid flower pollination algorithm* (FPA) dan *β -hill climbing* ?
3. Bagaimana efektifitas metode FPA pada saat melakukan penempatan DG dengan membandingkan nilai rugi-rugi daya tanpa menggunakan metode dan dengan menggunakan metode *hybrid flower pollination algorithm* (FPA) dan *β -hill climbing* ?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian optimasi penentuan lokasi penempatan *distributed generation* menggunakan metode *hybrid flower pollination algorithm* (FPA) dan *β -hill climbing*:

1. Menerapkan metode optimasi *hybrid flower pollination algorithm* (FPA) dan *β -hill climbing* untuk penentuan lokasi dan ukuran DG yang optimal.
2. Mengoptimalkan penempatan lokasi dan kapasitas DG untuk meminimalkan rugi-rugi jaringan dan memaksimalkan keluaran daya aktif DG dalam sistem distribusi radial menggunakan metode *hybrid flower pollination algorithm* (FPA) dan *β -hill climbing*.
3. Mengevaluasi efektifitas metode FPA pada saat melakukan penempatan DG dengan membandingkan nilai rugi-rugi daya tanpa menggunakan metode

dan dengan menggunakan metode *hybrid flower pollination algorithm* (FPA) dan *β -hill climbing*.

I.4 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam penelitian ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut :

1. Fungsi objektif dari optimisasi yang dilakukan adalah meminimalkan rugi daya dan memperbaiki kestabilan tegangan pada sistem distribusi.
2. Menggunakan sistem distribusi Penyulang Antang Gardu Induk Tello,, Penyulang Palisi Gardu Induk Mandai, IEEE 33 bus dan 69 bus,
3. Metode aliran daya yang digunakan pada penelitian ini adalah *backward and forward sweep* (BFS).
4. Metode optimasi yang digunakan adalah *hybrid flower pollination algorithm* (FPA) dan *β -hill climbing*.
5. Pada sistem distribusi Gardu induk Tello dan Mandai Fokus pada lahan kosong yang memungkinkan untuk penempatan DG tanpa memperhatikan kepemilikan lahan.

I.5 Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Dapat menjadi pertimbangan bagi pihak pengembang sistem distribusi aktif untuk dapat menggunakan metode yang diusulkan dan digunakan baik dalam perencanaan maupun pengembangan sistem distribusi kedepan.
2. Menjadi referensi bagi untuk penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan optimasi penentuan penempatan *distributed generation* dan aliran daya distribusi aktif.

I.6 Sistematika Penulisan

Penulisan pada proposal penelitian ini disusun dalam suatu sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang, tujuan penelitian, permasalahan, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan tentang landasan teori yang digunakan dalam penelitian. Diuraikan pula tentang penelitian terkait (berisi penjelasan tentang hasil penelitian yang menjadi acuan dengan penelitian yang dilakukan). Termasuk kutipan tulisan dari buku, artikel, jurnal, prosiding, dan lain sebagainya untuk mengetahui perkembangan yang relevan dengan judul atau tema penelitian, dan sebagai arahan dalam memecahkan masalah yang diteliti. Kerangka pikir juga diuraikan pada bab ini, berisi penjelasan untuk memecahkan masalah yang sedang diteliti, termasuk menguraikan objek penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, metode yang digunakan dan diagram penelitian yang digunakan.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi penjelasan tentang hasil uji coba serta implikasi dari penelitian yang dilakukan. Analisis merupakan penjelasan mengenai data yang digunakan (sesuai dengan metodologi yang telah ditetapkan).

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi penjelasan ringkasan implementasi penelitian, rangkuman, kesimpulan dan saran. Kesimpulan merupakan pernyataan secara umum atau spesifik yang berisi hal-hal penting dan menjadi temuan penelitian yang bersumber pada Bab IV Hasil dan Pembahasan. Saran merupakan pernyataan atau rekomendasi yang berisi hal-hal penting yang perlu dilakukan pada penelitian berikutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik terdiri dari 3 sub sistem, yaitu sistem pembangkit tenaga, sistem penyaluran dan instalasi pengguna listrik. Sistem pembangkit digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan mengubah energi sebagai batu bara, bahan bakar minyak bumi, panas bumi, pembangkit listrik tenaga air, energi matahari, angin, dan lain-lain. Di dalam sistem tenaga listrik dengan kapasitas cukup besar sistem pembangkitannya adalah sistem pembangkitan dengan menggunakan generator sinkron. Sistem penyaluran berfungsi untuk meyalurkan tenaga listrik yang dibangkitkan dari sistem pembangkit ke sistem instalasi pengguna tenaga listrik. Sistem penyaluran dibagi menjadi dua, yaitu sistem transmisi dan distribusi. (Hasanah dkk., 2015).

II.2 Sistem Pembangkit Tenaga Listrik

Sistem pembangkit berfungsi untuk membangkitkan tenaga listrik dengan cara mengkonversi energi primer seperti batu bara, bahan bakar minyak, panas bumi, tenaga air, tenaga surya, tenaga angin, dan lain-lain. Dalam sistem tenaga listrik dengan kapasitas yang cukup besar sistem pembangkitnya merupakan sistem pembangkit dengan menggunakan generator sinkron. Sistem pembangkit ditinjau dari jenis energi primernya dapat digolongkan menjadi 2 yaitu :

1. Pembangkit dengan energi primer tak terbarukan. Energi primer tak terbarukan merupakan bahan bakar fosil (*non renewable*) seperti : Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), dan lain-lain.
2. Pembangkit dengan energi primer terbarukan (*renewable*), seperti: Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), dan lain-lain.

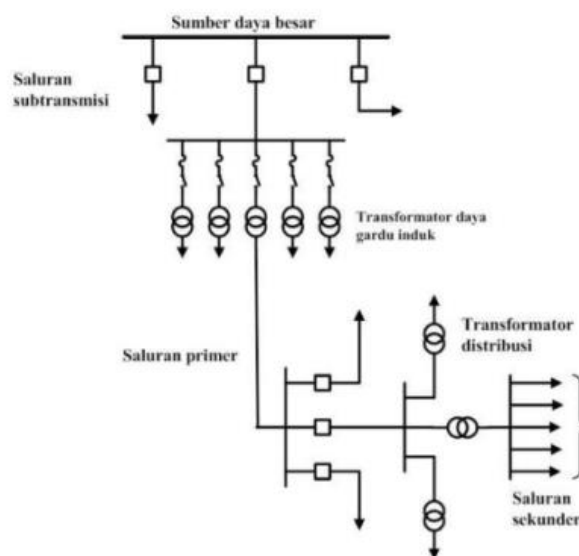
Sehubungan dengan bahan bakar fosil di Indonesia semakin menipis, untuk itu Pemerintah Indonesia merencanakan penggunaan energi primer terbarukan untuk meningkatkan penggunaan energi primer yang terbarukan yang masih berpotensi untuk dikembangkan, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Thermal dengan menggunakan biofuel, PLTP, PLTS, PLTB, dan lain-lain (Hasanah dkk., 2015).

II.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

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

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

Gambar 2.1 menunjukkan diagram satu garis dari sistem distribusi yang khas. Rangkaian subtransmisi mengirimkan energi dari sumber daya besar ke gardu induk distribusi. Tegangan subtransmisi berkisar antara 12,47 kV sampai dengan 245 kV.



Gambar 1 Diagram satu garis sistem distribusi (Sumber: Imran dkk., 2019)

Setelah energi listrik sampai pada gardu induk distribusi, kemudian diturunkan tegangannya menggunakan *transformator step-down* menjadi tegangan menengah yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer. Kecenderungan pada saat ini tegangan distribusi primer PLN yang berkembang adalah tegangan 20 kV. Setelah energi listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer atau Jaringan Tegangan Menengah (JTM), maka energi listrik kemudian diturunkan lagi tegangannya dalam gardu-gardu distribusi (transformator distribusi) menjadi tegangan rendah, yaitu tegangan 380/220 Volt, dan selanjutnya disalurkan melalui saluran sekunder atau Jaringan Tegangan Rendah (JTR) ke pelanggan PLN (Imran dkk., 2019).

II.4 *Distributed generation (DG)*

Distributed generation (DG) adalah pembangkit listrik dengan kapasitas kecil yang terletak dekat dengan titik konsumen. DG memiliki potensi untuk digunakan pada sistem tenaga listrik untuk meningkatkan keandalan sistem baik secara langsung maupun tidak langsung. Misalnya, DG dapat digunakan secara langsung untuk mendukung level tegangan lokal dan menghindari pemadaman listrik (Santosa dkk., 2015).

Menurut International Council on Large Electricity System (CIGRE) definisi DG sebagai setiap unit pembangkit dengan kapasitas maksimum 50 MW sampai 100 MW, yang biasanya terhubung ke jaringan distribusi. Di samping itu Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), mendefinisikan DG sebagai pembangkit energi listrik yang dilakukan oleh peralatan yang lebih maju lebih kecil dari pembangkit listrik pusat sehingga memungkinkan interkoneksi dalam hampir semua titik pada sistem tenaga listrik. Sementara itu, International Energy Agency (IEA), mendefinisikan DG sebagai unit pembangkit listrik pada konsumen dan memasok tenaga listrik langsung ke jaringan distribusi lokal (Purchala et al., 2006).

DG memiliki beberapa jenis seperti mikrohidro, pembangkit fotovoltaik, pembangkit angin dan mesin diesel dan baterai yang terdiri dari beberapa modul. Kapasitas pembangkitan DG terdiri dari beberapa kategori, berikut ini adalah Tabel

1 memberikan klasifikasi *distributed generation* (DG) berdasarkan kapasitas pembangkitnya (Santosa dkk., 2015).

Tabel 1 Klasifikasi *distributed generation* (DG) berdasarkan Kapasitas Pembangkitan (Santosa dkk., 2015).

Jenis DG	Kapasitas Pembangkitan
<i>Micro</i> DG (DG Mikro)	1 Watt < 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

Secara umum, ada 4 kategori DG berdasarkan injeksi daya. Tipe pertama, tipe 1, adalah yang menyediakan hanya injeksi daya aktif, seperti yang biasanya terjadi pada sumber fotovoltaik. Tipe 2 adalah yang memberikan injeksi daya aktif namun konsumsi daya reaktif, seperti dengan generator induksi yang biasa ditemukan di angin turbin. Tipe 3 mampu memberikan yang nyata dan reaktif injeksi daya, dan dikaitkan dengan sinkron generator. Tipe 4 memberikan injeksi hanya daya reaktif, dan termasuk perangkat seperti SVC dan kondensor sinkron (Chang et al., 2011).

II.5 Analisis Aliran Daya

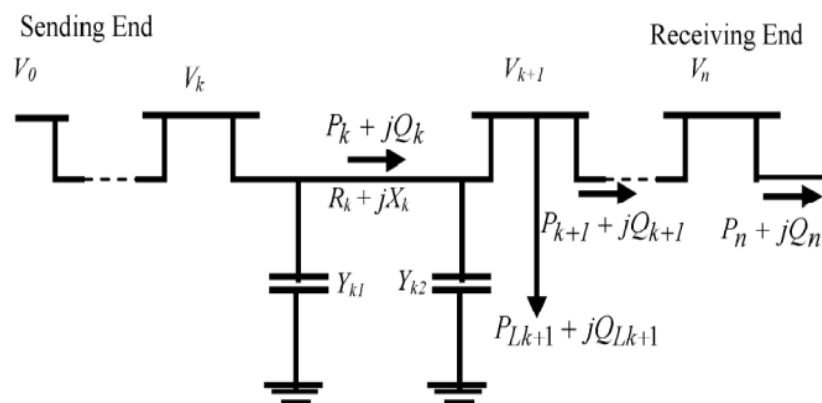
Analisis aliran daya adalah alat penting untuk sistem tenaga perencanaan dan operasi. Namun, aliran daya konvensional metode seperti Newton-Raphson atau *Fast Decoupled*, yang biasanya dirancang untuk sistem transmisi listrik, tidak cocok untuk analisis aliran beban sistem distribusi daya. Jaringan distribusi biasanya bersifat radial dan pengumpan memiliki rasio R/X yang tinggi, oleh karena itu tidak dikondisikan untuk hal tersebut aliran beban. Untuk berbagai aplikasi dalam *distribution automation* (DA), beberapa metode aliran daya telah dikembangkan dalam dua dekade terakhir, yang dikenal sebagai metode *distribution system load flow* (DSLFL). Metode ini memanfaatkan karakteristik topologi khusus dari *radial distribution network* (RDN). Di antara beberapa metode DSLFL, metode berbasis *backward and forward sweep* (BFS) terbukti menjadi metode yang paling sederhana dan cepat untuk melakukan distribusi aliran beban sistem.

Dewasa ini sistem distribusi listrik menjadi fokus karena untuk meningkatkan penetrasi DG. Integrasi DG ke dalam sistem distribusi mengubah dasar konfigurasi dari sistem pasif ke sistem aktif. Ini membawa manfaat tertentu serta tantangan, manfaat teknis utama adalah (Mishra et al., 2014):

1. Mengurangi rugi-rugi pada saluran.
2. Peningkatan profil tegangan.
3. Pengurangan emisi polutan,
4. Peningkatan efisiensi energi secara keseluruhan.
5. Keandalan dan keamanan sistem yang ditingkatkan.
6. Peningkatan kualitas daya.
7. Kemacetan/kongesti transmisi dan distribusi yang berkurang.

II.6 Backward and Forward Sweep (BFS)

Metode *backward and forward sweep* (BFS) untuk perhitungan aliran daya adalah metode iteratif di mana, pada setiap iterasi, dua tahap komputasi dilakukan: Aliran beban dari jaringan sumber tunggal dapat diselesaikan secara iteratif dari dua set persamaan rekursif. Himpunan persamaan pertama untuk perhitungan aliran daya pada setiap cabang dimulai dengan menghitung aliran arus beban pada bus terakhir menuju ke titik sumber (backward). Himpunan persamaan lainnya adalah untuk menghitung besarnya tegangan dan sudut setiap fasa pada setiap bus dimulai dari titik sumber menuju bus terakhir (forward).



Gambar 2 Diagram satu garis aliran daya (Sumber: Rupa et al., 2014)

Metode BFS sekarang dirumuskan kembali dengan cara yang sesuai untuk analisis konvergensi proses berulang. Seperti yang terlihat pada Gambar 2, cabang

terhubung antara bus 'k' dan 'k+1'. Daya aktif efektif (P_k) dan reaktif (Q_k) yang mengalir melalui cabang dari bus 'k' ke bus 'k+1' dapat dihitung mundur dari simpul terakhir dapat dinyatakan pada persamaan:

$$P_k = P'_{k+1} + r_k \frac{(P'^2_{k+1} + Q'^2_{k+1})}{V_{k+1}^2} \quad (1)$$

$$Q_k = Q'_{k+1} + X_k \frac{(P'^2_{k+1} + Q'^2_{k+1})}{V_{k+1}^2} \quad (2)$$

Dimana,

$$P'_{k+1} = P_{k+1} + P_{Lk+1} \quad (3)$$

$$Q'_{k+1} = Q_{k+1} + Q_{Lk+1} \quad (4)$$

P_{Lk+1} dan Q_{Lk+1} merupakan beban-beban yang terhubung pada bus 'k+1', P_{k+1} dan Q_{k+1} adalah aliran daya aktif dan reaktif yang efektif dari bus 'k+1'.

Nilai tegangan dan sudut fasa pada bus yang diperlukan untuk metode perhitungan metode *forward*. Perhitungan persamaan dengan metode *forward* termasuk $V_k < \delta_k$ di bus 'k' serta mengetahui $V_{k+1} < \delta_{k+1}$ di bus 'k+1', maka arus mengalir melalui cabang yang memiliki impedansi, $z_k = r_k + jx_k$ terhubung antara 'k' dan 'k+1' dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$I_k = \frac{V_k < \delta_k - V_{k+1} < \delta_{k+1}}{r_k + jx_k} \quad (5)$$

Awalnya, profil tegangan datar di semua bus yaitu 1,0 pu. Daya dihitung secara iteratif dengan tegangan yang diterapkan ke setiap bus. Dalam metode aliran daya yang diusulkan, penjumlahan daya dilakukan dengan metode *backward* dan tegangan dihitung dengan metode *forward* (Rupa et al., 2014).

II.7 Flower Pollination Algorithm (FPA)

Flower Pollination Algorithm (FPA) atau algoritma penyerbukan bunga dikembangkan oleh Xin-She Yang pada tahun 2012, terinspirasi oleh proses penyerbukan aliran tanaman berbunga. FPA telah diperluas ke multi-tujuan optimasi. Untuk kesederhanaan, empat aturan berikut digunakan:

1. Penyerbukan biotik dan penyerbukan silang dapat dianggap sebagai proses penyerbukan global, dan penyerbuk yang membawa serbuk sari bergerak dengan cara yang mematuhi Lévy flight.

2. Untuk penyerbukan lokal, digunakan penyerbukan abiotik dan penyerbukan sendiri.
3. Penyerbuk seperti serangga dapat mengembangkan keteguhan bunga, yang setara dengan reproduksi probabilitas yang sebanding dengan kesamaan dua bunga yang terlibat.
4. Interaksi atau peralihan penyerbukan lokal dan penyerbukan global dapat dikendalikan oleh probabilitas peralihan $p \in [0,1]$, sedikit bias terhadap penyerbukan lokal.

Untuk merumuskan rumus pembaruan, aturan di atas harus diubah menjadi persamaan pembaruan yang tepat. Misalnya, dalam langkah penyerbukan global, gamet serbuk sari bunga dibawa oleh penyerbuk seperti serangga, dan serbuk sari dapat melakukan perjalanan jarak jauh karena serangga sering dapat terbang dan bergerak dalam jarak yang jauh lebih jauh. Oleh karena itu, Aturan 1 dan keteguhan bunga (Aturan 3) dapat direpresentasikan secara matematis sebagai:

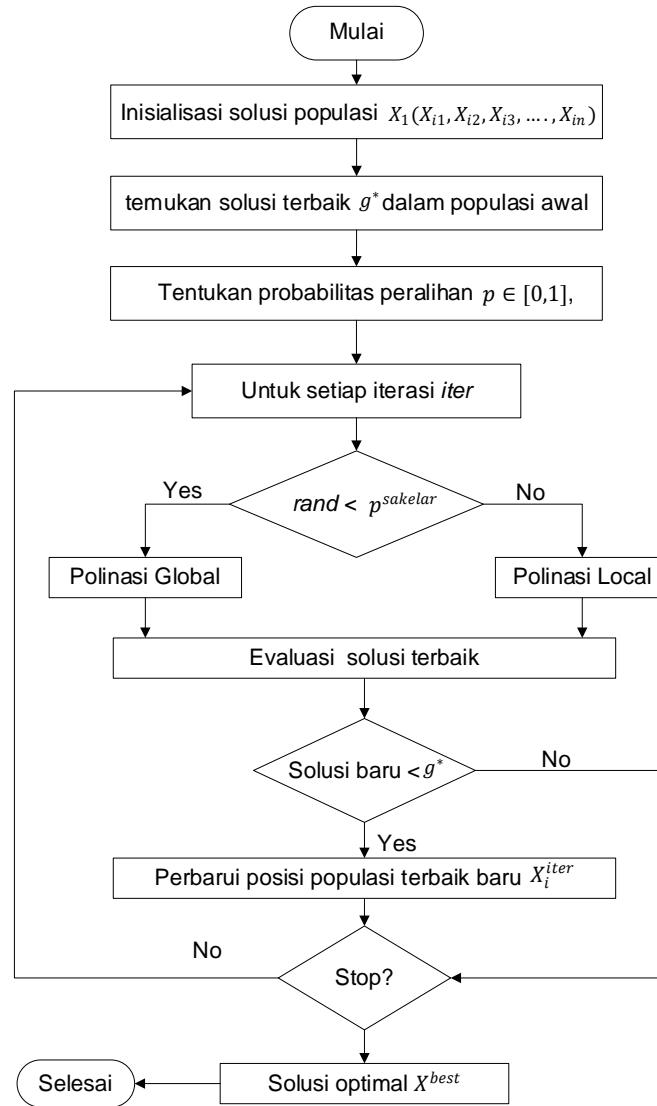
$$x_i^{t+1} = x_i^t + L(g_* - x_i^t) \quad (6)$$

Dimana x_i^t = serbuk sari I atau solusi vektor x_i pada itersai ke- t dan g_* adalah solusi terbaik yang ditemukan saat ini di antara semua solusi pada generasi/iterasi.

L pada persamaan (6) biasa disebut dengan fungsi Levy. Parameter L merupakan kekuatan dari penyerbukan. Fungsi Levy dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$L \sim \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin\left(\frac{\pi\lambda}{2}\right)}{\pi} \cdot \frac{1}{\delta^{1+\lambda}}, (\delta \gg \delta_0 > 0) \quad (7)$$

$\Gamma(\lambda)$ merupakan fungsi gamma, dan pada persamaan (7) bernilai valid saat $\delta > 0$, pada teorinya nilai $\delta_0 = 0,1$ (Yang et al., 2014). Gambar 3 memperlihatkan *flowchart* metode FPA.



Gambar 3 Flowchart Flower Pollination Algorithm (Sumber: (Alyasseri et al., 2018))

II.8 Algoritma β -Hill Climbing

Hill climbing (HC) adalah teknik optimasi langsung. Seperti dalam pendekatan pencarian lokal, teknik berulang dari pendakian bukit algoritma dimulai melalui pengembangan solusi acak kemudian dilanjutkan dengan pencarian lintasan mencari posisi yang lebih baik di ruang pencarian. Proses seperti itu diulangi sampai solusi teratas tidak dapat ditingkatkan lagi (Al-Betar 2017).

Jadi, ada banyak tantangan dalam HC yang asli. Itu yang paling penting adalah yang hanya menerima gerakan menanjak. Oleh karena itu, banyak ekstensi

telah diperkenalkan untuk mengatasi masalah seperti itu. Misalnya, Al-Betar (2017) mengusulkan *β -hill climbing*, di mana faktor β ditambahkan ke menyeimbangkan eksplorasi dan eksploitasi di ruang pencarian, seperti: bahwa $\beta \in [0,1]$.

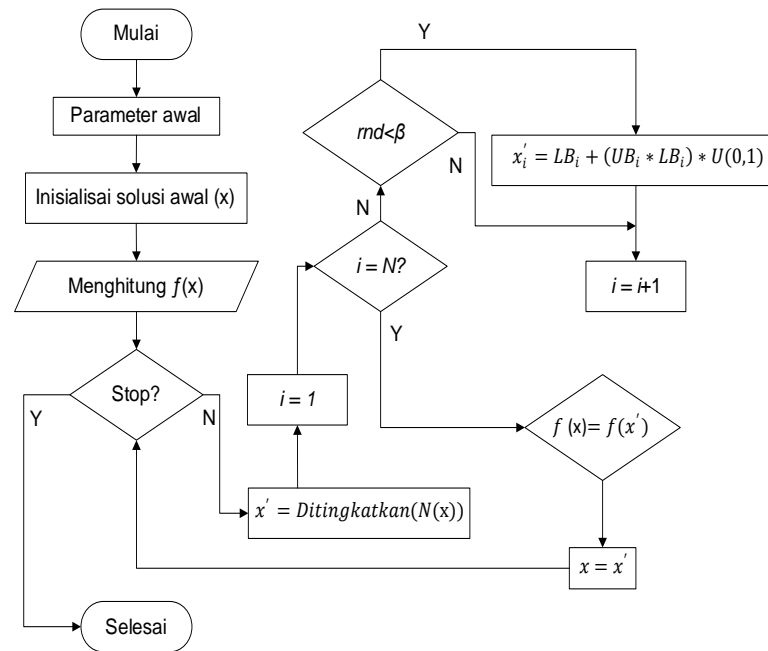
β -hill climbing dimulai dengan solusi awal acak $x = (x_1, x_2, \dots, x_N)$. Pada setiap iterasi, solusi baru $x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_N)$ dihasilkan berdasarkan dua operator: navigasi lingkungan (yaitu, N-operator) dan β -operator. Dalam N-tahap operator, solusi tetangga acak dari solusi x diadopsi dengan cara meningkatkan fungsi (N) bersama dengan aturan penerimaan 'jalan acak' yang hanya bergerak satu langkah tanpa memeriksa perubahan fungsi tujuan, sebagai berikut:

$$x'_N = x_i \pm \cup (0,1) x \text{ bw} \quad (8)$$

Pada tahap β -operator, dengan rentang probabilitas β , masing-masing variabel tunggal dari solusi baru diberi nilai dasar baik nilai yang ada dari solusi saat ini atau secara acak dari jangkauan yang tersedia, sebagai berikut:

$$x'_i \leftarrow \begin{cases} x_r \cup (0,1) > rnd \leq \beta \\ x_i & \text{Sebaliknya.} \end{cases} \quad (9)$$

di mana $\beta \in [0,1]$, $x_r \in x_i$ adalah rentang yang mungkin untuk variabel keputusan x'_i , dan rnd menghasilkan random uniform angka antara 0 dan 1. Dengan operator tersebut, konvergensi *β -hill climbing* didorong menuju solusi optimal. Secara sistematis, N-operator menavigasi solusi tetangga dari solusi saat ini dan mengembalikan salah satu solusi dengan nilai fungsi tujuan yang lebih baik. Dalam β -operator, konvergensi dapat dicapai dengan membangun bagian yang terkontrol dari solusi saat ini, dan oleh karena itu, laju konvergensi dapat ditingkatkan. β -Operator dapat dianggap sebagai sumber eksplorasi sedangkan N-operator dapat menjadi sumber eksploitasi. Dalam hal ruang pencarian, Operator sangat berguna yang memberdayakan algoritma *β -hill climbing* dalam melompat dari wilayah ruang pencarian ke wilayah lain di tingkat yang sama atau kurang. Melalui kemampuan ini, algoritma *β -hill climbing* dapat lolos dari jebakan minima lokal dengan mencoba nilai stokastik untuk beberapa variabel keputusan (Alomari et al., 2018).



Gambar 4 Flowchart Algoritma β -Hill Climbing (Sumber:(Alomari et al., 2018))

II.9 Kerangka Pikir

Perkembangan teknologi yang berbanding lurus dengan konsumsi daya listrik, sehingga menyebabkan jaringan listrik khususnya jaringan distribusi mengalami peningkatan rugi-rugi daya dan penurunan tegangan pada sistem. Distribusi jaringan sendiri merupakan subsistem dari keseluruhan sistem tenaga listrik. Jaringan distribusi jaringan listrik yang berhubungan langsung dengan sisi beban atau konsumen.

Salah satu solusi untuk mengurangi nilai rugi-rugi daya dan meningkatkan profil tegangan sistem distribusi adalah dengan memasang (DG). DG sendiri didefinisikan sebagai generator listrik skala kecil, dengan kapasitas pembangkit beberapa kilo Watt (kW) hingga beberapa Mega Watt (MW). Pemasangan DG pada saluran distribusi listrik dapat meningkatkan efisiensi, meningkatkan dan juga meningkatkan kualitas daya sistem, Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan penempatan dan kapasitas (DG) untuk mengurangi kerugian daya dan meningkatkan profil tegangan pada sistem. Penelitian akan dilakukan dengan model sistem distribusi penyulang Antang gardu induk Tello dan penyulang Palisi gardu induk Mandai IEEE 33 bus, dan 69 bus menggunakan metode *hybrid flower pollination algorithm* (FPA) dan *β -hill climbing*.

II.10 State of The Art Penelitian

Tabel 2 menjelaskan tentang State of the Arts (SOTA). Penelitian ini merupakan perekaptaan dan inovasi dari beberapa penelitian sebelumnya dan diharapkan mampu memberikan hasil yang lebih optimal dari yang telah ada sebelumnya.

Tabel 2 Beberapa penelitian terkait penentuan lokasi dan kapasitas DG pada sistem Tenaga Listrik

No.	Judul	Metode	Hasil	Referensi
1	Optimal location and sizing determination of distributed generation and DSTATCOM using Particle Swarm Optimization algorithm	<i>Particle Swarm Optimization Algorithm</i>	Hasil analisis menggunakan Loss Sensitivity Factor menunjukkan penempatan dan ukuran optimal DG dan DSTATCOM dalam Sistem Distribusi Radial secara efektif meningkat profil tegangan dan mengurangi kerugian daya total sistem.	(Devi and Geethanjali 2014)
2	Penempatan dan Penentuan Kapasitas Optimal distributed generation (DG) Menggunakan Artificial Bee Colony (ABC)	Artificial Bee Colony (ABC)	pemasangan DG pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus dapat mengurangi kerugian daya aktif sistem yang sangat signifikan sekaligus meningkatkan level tegangan pada tiap bus sehingga mencapai batas toleransi.	(H, Anam, and Robandi 2012)
3	Optimal Placement and Sizing Method to Improve the Voltage Stability Margin in a Distribution System Using distributed generation	Metode Penempatan dan Ukuran Optimal untuk Ditingkatkan Margin Stabilitas Tegangan	Hasil simulasi menunjukkan bahwa ukuran dan lokasi DG dapat berdampak positif pada margin stabilitas tegangan. Oleh karena itu, metode optimasi dapat digunakan untuk menentukan lokasi dan ukuran unit DG, untuk mencapai target peningkatan margin stabilitas tegangan.	(Al Abri, El-Saadany, and Atwa 2013)
4	A Simple Analytical Technique for Optimal Capacitor Placement in	<i>Forward/Backward Sweep Algorithm</i>	Hasil menunjukkan metode yang diusulkan sangat sederhana dibandingkan dengan metode lainnya. Metode ini dapat mudah diterapkan pada sistem	(Mohamed, Kamel, and Aly 2018)

No.	Judul	Metode	Hasil	Referensi
5	Radial Distribution System Optimal Placement and Sizing of distributed generation via an Improved Nondominated Sorting Genetic Algorithm II	Metode Peningkatan Nondominasi Sorting Algoritma Genetika II	distribusi radial dengan waktu komputasi dan jumlah iterasi yang lebih sedikit. Menunjukkan bahwa metode yang diusulkan dapat mencapai presisi yang lebih baik dan keragaman. Dalam praktiknya, pilihan situs terbaik mungkin tidak selalu layak karena banyak kendala realitas. Tapi optimasi dan analisis di sini menunjukkan bahwa mempertimbangkan multiobjectives membantu untuk memutuskan penempatan dan ukuran unit Ditjen untuk pengambil keputusan.	(Liu et al. 2019)
6	Optimal distributed generation and Reactive Power Allocation in Electrical Distribution System	Hybrid Algorithm (Tabu Search Algorithm and Chu – Beasley Genetic Algorithm)	Hasil yang disajikan menunjukkan metode yang diusulkan sangat efisien dalam menemukan bus di mana CB dan DG harus dialokasikan, serta skema kontrol dari CB yang diaktifkan dan pengiriman DG, mempertimbangkan kendala fisik dan operasional. Hasil berbeda dari studi kasus menunjukkan bahwa operasi CB dan DG sangat tergantung pada jenis DG (stochastic atau dispatchable) dan daya reaktif yang dihasilkan oleh Tabu Search (TS)	(Pereira et al. 2016)
7	Optimal placement and sizing of DG (distributed generation) units in distribution networks by novel Hybrid evolutionary algorithm	Metode algoritma evolusi hibrida baru	Algoritma yang diusulkan diuji pada sistem uji distribusi 69-bus berdasarkan teknis, pertimbangan ekonomis dan perlindungan lingkungan. Hasil simulasi menggambarkan kebaikan kinerja dan penerapan metode yang diusulkan.	(Doagou-Mojarrad et al. 2013)

No.	Judul	Metode	Hasil	Referensi
8	Optimal Allocation distributed generation Using Hybrid Grey Wolf Optimizer	Hybrid Grey Wolf Optimizer	Hasilnya menunjukkan bahwa ada pengurangan yang cukup besar dalam kehilangan daya dan peningkatan profil tegangan bus di seluruh jaringan.	(Sanjay et al. 2017)
9	Optimal Integration of Optimal Integration of DG and Capacitors in Distribution System	Analytical Expression dan Optimal Power Flow (OPF)	Metode yang diusulkan dapat secara efektif menentukan solusi optimal untuk berbagai kasus. Hal ini menunjukkan bahwa menempatkan DG dan kapasitor secara simultan dapat sangat meningkatkan sistem distribusi dalam hal mengurangi rugi-rugi daya dan profil tegangan. Metode yang diusulkan ini adalah alat yang berguna untuk perencanaan sistem distribusi untuk integrasi masa depan berbagai jenis DG dan kapasitor.	(Mahmoud 2017)
10	Optimasi Penempatan distributed generation (DG) dan Kapasitor pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan Metode Genetic Algorithm (GA) (Studi Kasus pada Penyulang Watu Ulo Jember)	Genetic Algorithm (GA)	Dalam penelitian ini membuktikan dengan adanya penempatan DG dan kapasitor dapat memperbaiki daya aktif dan daya reaktifnya. Serta terdapat perbaikan profil tegangan disetiap busnya setelah adanya penempatan dari DG dan kapasitor dibandingkan sebelum adanya penempatan dari DG dan kapasitor, dimana pada bus 60 mengalami perbaikan profil tegangan dari 0.8454 Volt menjadi 0.8523 Volt.	(Tabarok, Saleh, and Kaloko 2017)
11	Application of flower pollination algorithm for optimal placement and sizing of distributed	Flower pollination algorithm (FPA)	Dalam penelitian ini ditentukan lokasi dan ukuran DG yang optimal untuk pengurangan rugi-rugi daya dan untuk meningkatkan profil tegangan melalui metode vektor	(Reddy, Reddy, and Manohar 2016)

No.	Judul	Metode	Hasil	Referensi
	generation in Distribution systems		indeks dan algoritma penyerbukan bunga. Di sini metode vektor indeks digunakan untuk menemukan lokasi DG untuk meminimalkan ruang pencarian. Ukuran DG optimal dievaluasi berdasarkan fungsi tujuan yang meminimalkan rugi-rugi daya aktif total menggunakan algoritma penyerbukan bunga.	
12	Flower Pollination Algorithm Based Sizing and Placement of DG and D-STATCOM Simultaneously in Radial Distribution Systems Vittal	Flower pollination algorithm (FPA)	Untuk mendemonstrasikan efektivitas FPA diimplementasikan pada 15, 33 dan 69 bus sistem distribusi radial (RDS) untuk mendapatkan lokasi dan ukuran DG dan D-STATCOM berdasarkan calon bus yang dipilih. Perbandingan hasil yang diperoleh FPA dengan kasus dasar menyimpulkan bahwa rugi daya berkurang dengan peningkatan penghematan bersih dan peningkatan profil tegangan untuk sistem distribusi yang diuji.	(Bhat and Manjappa 2018)