

SKRIPSI

OPTIMASI PENEMPATAN *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) TIPE INJEKSI DAYA REAKTIF DENGAN MENGUNAKAN METODE *FLOWER POLLINATION* *ALGORITHM* (FPA)

Disusun dan diajukan oleh:

ANDI NUR AULIA AZHAR MANGKONA
D041 19 1086



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

OPTIMASI PENEMPATAN *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) TIPE INJEKSI DAYA REAKTIF DENGAN MENGUNAKAN METODE *FLOWER POLLINATION* *ALGORITHM* (FPA)

Disusun dan diajukan oleh

Andi Nur Aulia Azhar Mangkona

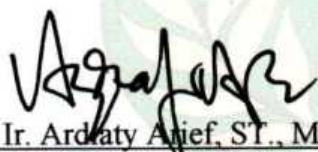
D041191086

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada Tanggal 13 Oktober 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Prof. Ir. Ardiaty Anief, ST., MTM., Ph.D
NIP 19780424 200112 2 001



Ir. Hasniaty A, ST., MT., Ph.D
NIP 19741205 200012 2 001

Ketua Program Studi,



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



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Andi Nur Aulia Azhar Mangkona

NIM : D041191086

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**OPTIMASI PENEMPATAN *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) TIPE
INJEKSI DAYA REAKTIF DENGAN MENGGUNAKAN METODE
FLOWER POLLINATION ALGORITHM (FPA)**

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

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

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

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

Gowa, 28 Agustus 2023

Yang Menyatakan



Andi Nur Aulia Azhar Mangkona



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, puji syukur kita panjatkan kehadirat *Allah subhanahu wa ta'ala* yang telah memberikan kami rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada *Rasulullah shalallahu'alaihi wasallam*, keluarga, sahabat, *tabi'in*, *tabi'ut tabi'in*, serta orang-rang yang senantiasa istiqomah mengikutinya hingga hari akhir.

Skripsi ini berjudul “Optimasi Penempatan *Distributed Generation* (DG) Tipe Injeksi Daya Reaktif dengan Menggunakan Metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA)”. Dalam proses menyelesaikan skripsi ini saya menyadari bahwa banyak kendala yang dihadapi. Namun, *Allah subhanahu wa ta'ala* memberikan kemudahan, kesabaran, dan juga pertolongan-Nya hingga saya bisa melewati tantangan yang ada. Selain itu, terdapat juga bantuan, dukungan, dan doa dari banyak pihak sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Pada kesempatan kali ini, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam menyusun dan menyelesaikan skripsi ini, antara lain :

1. Orang tua yaitu Etta Ir. A. Muh. Azhar Mangkona dan Ibu Dra. Musdalifah Mamma tercinta serta saudara(i) tersayang Muh. Imran, Muh. Aqsha, Nur Wahidah, dan Nur Inayah yang senantiasa memberikan dukungan, bantuan, dan doa dalam bentuk apapun sehingga saya dapat mengerjakan skripsi ini sampai selesai.
2. Ibu Prof. Ir. Ardiaty Arief, ST., MTM., Ph.D selaku pembimbing I dan Ibu Ir. Hasniaty A, ST., MT., Ph.D selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan dan motivasi, serta berbagi ilmu selama penelitian dan pengerjaan skripsi ini.
3. Bapak Ir. Tajuddin Waris, MT. dan Bapak M. Bachtiar Nappu, ST., MT., Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, saran, dan arahan dalam penyelesaian skripsi ini.



ou Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. dan Bapak Dr. Ikhlas Kitta, S.T., M.T. selaku etua dan Sekretaris Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik niversitas Hasanuddin.

5. Seluruh dosen dan staf pegawai di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah mengajar, mendidik, dan memberi saran selama masa kuliah.
 6. Co-mate yaitu Dede Fatimah dan Hidayah Tria telah menjadi penyemangat, teman nugas dan makan bareng, tempat berbagi ilmu dan drama kuliah, saling membantu, serta selalu ada sejak maba sampai sekarang. Saudara Gabriel Jeremia yang selalu memotivasi penyelesaian skripsi ini serta memberikan kritik dan saran dalam hal apapun.
 7. Sobat jangkrik yaitu Salsa, Fadilah, dan Nurul yang saling mendukung dan berbagi kisah hidup walaupun sangat sulit untuk bertemu. Serta saudari Anni yang tak hentinya menyemangati dalam proses perkuliahan.
 8. Kelompok belajar, yaitu Ade Nur Fatimah, Hidayah Tria, Arjun, Ayu Indryani, Nurul Iffah, Pati Rezkyanti, dan Nur Isnun yang selalu belajar bersama dan berbagi cerita selama proses perkuliahan.
 9. Teman-teman di *Laboratorium Power & Energy System* serta *Laboratorium Electricity Market & Power System*, yaitu Arjun, Ayu, Didin, Rahmat, dan Yusril yang telah kebersamai dalam mengerjakan skripsi hingga selesai.
 10. Teman-teman *Laboratorium Teknik Energi* yang telah bekerja sama, berbagi pengalaman, motivasi, ilmu, dan cerita selama menjadi asisten mesin-mesin listrik.
 11. Keluarga Energi yang telah bersama menjalani mata kuliah konsentrasi energi, khususnya saat menjalani Praktikum Teknik Tenaga Listrik atas dukungan, bantuan, pengalaman, dan motivasinya.
 12. Saudara TR19GER yang telah menjadi teman seperjuangan, memberi banyak kisah, cerita, motivasi, dan waktunya selama menempuh perkuliahan.
 13. Teman – teman KKN Tematik 108 Universitas Hasanuddin dengan penempatan di Pulau Kapoposang Pangkep, yaitu Lulu, Mulia, Rubi, Alang, Finsen, Azhima, Febri, dan Rahmat yang telah kebersamai dan memberi pengalaman baru selama proses pengabdian masyarakat.
- Seluruh masyarakat Desa Liukang Tupabbiring, Pulau Kapoposang, kabupaten Pangkajene dan Kepulauan. Khususnya keluarga Bapak



Hasanuddin atas sarana, prasarana, serta kebaikan yang telah diberikan kepada saya dan teman-teman selama melaksanakan KKN.

15. Seluruh pihak yang telah memberi bantuan, dukungan, serta doa yang tidak dapat disebutkan.

Saya menyadari bahwa terdapat kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengharapkan kritik, saran, dan arahan yang dapat menjadi pengembangan ataupun perbaikan dari berbagai pihak. Sehingga dapat dijadikan bahan untuk evaluasi kedepannya. Saya berharap penelitian ini dapat memberi manfaat baik itu kepada penulis maupun pembaca.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar, 02 September 2023



Andi Nur Aulia Azhar Mangkona



ABSTRAK

ANDI NUR AULIA AZHAR MANGKONA. *Optimasi Penempatan Distributed Generation (DG) Tipe Injeksi Daya Reaktif dengan Menggunakan Metode Flower Pollination Algorithm (FPA)* (dibimbing oleh Ardiaty Arief dan Hasniaty A.)

Kebutuhan manusia terhadap energi listrik sangat besar untuk menunjang segala aktivitas. Perkembangan teknologi berbanding lurus dengan konsumsi tenaga listrik, sehingga menyebabkan penurunan kualitas tenaga listrik. Penurunan kualitas sistem distribusi tenaga listrik dikarenakan adanya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada sistem dalam jumlah yang besar. Salah satu solusi untuk mengurangi rugi daya dan jatuh tegangan adalah dengan memasang pembangkit terdistribusi atau *Distributed Generation* (DG). Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menggunakan DG tipe 2 sebagai salah satu solusi dalam mengurangi rugi-rugi daya dan meningkatkan profil tegangan pada sistem distribusi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui letak dan kapasitas DG tipe 2 yang optimal untuk ditempatkan pada sistem distribusi radial IEEE 33 dan 69 bus. Metode penelitian yang akan dilakukan yaitu dengan melakukan penempatan DG tipe 2 optimal menggunakan metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus dengan menempatkan 1-3 unit DG tipe 2 dapat mengurangi rugi-rugi daya sebesar 8,8% sampai 33,5%. Tegangan terkecil yang diperoleh adalah 0,9472 pu. Untuk sistem distribusi radial IEEE 69 bus, penempatan 1-3 unit DG tipe 2 dapat mengurangi rugi daya sebesar 54,07% sampai 58,02%. Tegangan terkecil yang diperoleh adalah 0,9524 pu. Berdasarkan data penelitian yang telah diperoleh, bahwa dengan adanya penempatan dan kapasitas DG tipe 2 yang optimal dapat mengurangi rugi-rugi daya dan meningkatkan profil tegangan pada sistem distribusi.

Kata kunci: *Distributed Generation* tipe 2, *Flower Pollination Algorithm*, rugi daya, profil tegangan.



ABSTRACT

ANDI NUR AULIA AZHAR MANGKONA. *Optimization of Distributed Generation (DG) Placement for Reactive Power Injection using Flower Pollination Algorithm (FPA) Method.* (supervised by Ardiaty Arief dan Hasniaty A.)

The human need for electrical energy is significant to support all activities. Technological advancements are directly proportional to electricity consumption, leading to a decrease in the quality of electrical energy. The decline in the quality of the power distribution system is due to power losses and voltage drops in substantial amounts. Distributed Generation is one of the solutions to reduce power losses and voltage drops (DG). Several researches have been conduct to use DG type 2 as one of the solutions to minimize power losses and enhance voltage profiles in the distribution system. This research aims to determine the optimal location and capacity of DG type 2 to be placed in the IEEE 33 and 69 bus radial distribution systems. The research method employed for optimal DG type 2 placement is the Flower Pollination Algorithm (FPA). Based on the previous research, in the IEEE 33 bus radial distribution system, the placement of 1-3 units of DG type 2 can reduce power losses by 8,8% to 33,5%, and the minimum voltage obtained is 0,9472 pu. For the IEEE 69 bus radial distribution system, after placement of 1-3 units of DG type 2 can reduce power losses by 54,07% to 58,02%, and the minimum voltage obtained is 0,9524 pu. The data obtained from the research indicates that optimal placement and capacity of DG type 2 can effectively reduce power losses and improve voltage profiles in the distribution system.

Keywords: Distributed Generation Type 2, Flower Pollination Algorithm, power losses, voltage profile.



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	7
2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	8
2.3 Studi Aliran Daya	9
2.4 <i>Distributed Generation</i>	12
2.5 Pembangkitan Daya Reaktif.....	14
2.5.1 Kapasitor	15
2.5.2 <i>Static VAR Compensator</i>	16
2.6 Daya Listrik.....	16
2.7 Rugi Daya Listrik	18
2.7.1 Rugi daya aktif.....	18
2.7.2 Rugi daya reaktif.....	19
Fungsi Objektif dan Fungsi Kendala	19
2.8.1 Fungsi objektif	19
2.8.2 Fungsi kendala	20



2.9	<i>Flower Pollination Algorithm (FPA)</i>	21
2.10	<i>State Of The Art</i>	22
BAB III METODE PENELITIAN		29
3.1	Waktu dan Lokasi Penelitian	29
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	29
3.3	Teknik Pengumpulan Data	29
3.4	Alur Penelitian	36
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Aliran Daya pada Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus	39
4.2	Penempatan <i>Single</i> DG Tipe 2 pada Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus	42
4.3	Penempatan 2 Unit DG Tipe 2 pada Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus	46
4.4	Penempatan 3 Unit DG Tipe 2 pada Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus	50
4.5	Aliran Daya pada Sistem Distribusi Radial IEEE 69 Bus	54
4.6	Penempatan <i>Single</i> DG Tipe 2 pada Sistem Distribusi Radial IEEE 69 Bus	56
4.7	Penempatan 2 Unit DG Tipe 2 pada Sistem Distribusi Radial IEEE 69 Bus	62
4.8	Penempatan 3 Unit DG Tipe 2 pada Sistem Distribusi Radial IEEE 69 Bus	67
4.9	Rekapitulasi Hasil Optimasi	72
4.9.1	Rekapitulasi hasil optimasi pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	72
4.9.2	Rekapitulasi hasil optimasi pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	74
4.10	Validasi Hasil Optimasi	76
4.10.1	Validasi hasil optimasi penempatan <i>single</i> DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	76
4.10.2	Validasi hasil optimasi penempatan 2 unit DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	77



4.10.3 Validasi hasil optimasi penempatan 3 unit DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus.....	79
4.10.4 Validasi hasil optimasi penempatan <i>single</i> DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	80
4.10.5 Validasi hasil optimasi penempatan 2 unit DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	82
4.10.6 Validasi hasil optimasi penempatan 3 unit DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	83
4.11 Perbandingan Hasil Metode Optimasi	85
4.11.1 Perbandingan hasil metode optimasi pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus.....	85
4.11.2 Perbandingan hasil metode optimasi pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	87
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	90
5.1 Kesimpulan.....	90
5.2 Saran	91
DAFTAR PUSTAKA	92



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Sistem tenaga listrik	7
Gambar 2 Jaringan sederhana pada sistem distribusi radial.....	11
Gambar 3 <i>Centralised dan distributed power generation system</i>	13
Gambar 4 Segitiga Daya Listrik.....	17
Gambar 5 <i>Single line diagram</i> sistem distribusi radial IEEE 33 bus.....	30
Gambar 6 <i>Single line diagram</i> sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	32
Gambar 7 Diagram alir penelitian.....	36
Gambar 8 Diagram alir metode <i>Flower Pollination Algorithm</i> (FPA).....	37
Gambar 9 Diagram alir aliran daya sebelum dan setelah optimasi.....	38
Gambar 10 Grafik tegangan bus pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	40
Gambar 11 Grafik tegangan bus setelah penempatan <i>single</i> DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus.....	44
Gambar 12 Grafik tegangan bus setelah penempatan 2 unit DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus.....	48
Gambar 13 Grafik tegangan bus setelah penempatan 3 unit DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus.....	52
Gambar 14 Grafik tegangan bus pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	55
Gambar 15 Grafik tegangan bus setelah penempatan <i>single</i> DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	59
Gambar 16 Grafik tegangan bus setelah penempatan 2 unit DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	64
Gambar 17 Grafik tegangan bus setelah penempatan 3 unit DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	69
Gambar 18 Histogram rekapitulasi hasil simulasi sistem distribusi radial IEEE 33 bus	72
Gambar 19 Histogram rekapitulasi hasil simulasi sistem distribusi radial IEEE 69 bus	74



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Kapasitas DG	13
Tabel 2 Faktor daya tipe DG	14
Tabel 3 Analogi penyerbukan bunga dengan optimasi	22
Tabel 4 <i>State of the art</i>	23
Tabel 5 <i>Bus data</i> IEEE 33 bus	30
Tabel 6 <i>Line data</i> IEEE 33 bus	31
Tabel 7 <i>Bus data</i> IEEE 69 bus	32
Tabel 8 <i>Line data</i> IEEE 69 bus	33
Tabel 9 Aliran daya pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	40
Tabel 10 Tegangan bus pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	41
Tabel 11 Aliran daya setelah penempatan <i>single</i> DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	42
Tabel 12 Tegangan bus setelah penempatan <i>single</i> DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	45
Tabel 13 Aliran daya setelah penempatan 2 unit DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	46
Tabel 14 Tegangan bus setelah penempatan 2 unit DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	49
Tabel 15 Aliran daya setelah penempatan 3 unit DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	50
Tabel 16 Tegangan bus setelah penempatan 3 unit DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	53
Tabel 17 Aliran daya pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	54
Tabel 18 Tegangan bus pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	55
Tabel 19 Aliran daya setelah penempatan <i>single</i> DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	57
Tabel 20 Tegangan bus setelah penempatan <i>single</i> DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	60
Aliran daya setelah penempatan 2 unit DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	62



Tabel 22 Tegangan bus setelah penempatan 2 unit DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	65
Tabel 23 Aliran daya setelah penempatan 3 unit DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	67
Tabel 24 Tegangan bus setelah penempatan 3 unit DG tipe 2 pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	70
Tabel 25 Rekapitulasi hasil simulasi sistem distribusi radial IEEE 33 bus	72
Tabel 26 Rekapitulasi hasil simulasi sistem distribusi radial IEEE 69 bus	75
Tabel 27 Validasi optimasi dengan nilai kapasitas <i>single</i> DG sama pada bus berbeda pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	76
Tabel 28 Validasi optimasi dengan nilai kapasitas <i>single</i> DG berbeda pada bus sama pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	77
Tabel 29 Validasi optimasi dengan nilai kapasitas 2 unit DG sama pada bus berbeda pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	78
Tabel 30 Validasi optimasi dengan nilai kapasitas 2 unit DG berbeda pada bus sama pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	78
Tabel 31 Validasi optimasi dengan nilai kapasitas 3 unit DG sama pada bus berbeda pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	79
Tabel 32 Validasi optimasi dengan nilai kapasitas 3 unit DG berbeda pada bus sama pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus	80
Tabel 33 Validasi optimasi dengan nilai kapasitas <i>single</i> DG sama pada bus berbeda pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	81
Tabel 34 Validasi optimasi dengan nilai kapasitas <i>single</i> DG berbeda pada bus sama pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	81
Tabel 35 Validasi optimasi dengan nilai kapasitas 2 unit DG sama pada bus berbeda pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	82
Tabel 36 Validasi optimasi dengan nilai kapasitas 2 unit DG berbeda pada bus sama pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	83
Tabel 37 Validasi optimasi dengan nilai kapasitas 3 unit DG sama pada bus berbeda pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	84
Validasi optimasi dengan nilai kapasitas 3 unit DG berbeda pada bus sama pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus	84



Tabel 39 Perbandingan hasil optimasi berbagai metode untuk sistem distribusi radial IEEE 33 bus.....	85
Tabel 40 Perbandingan hasil optimasi berbagai metode untuk sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	88



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan manusia terhadap energi listrik sangat besar, seluruh aktivitas manusia memerlukan energi listrik untuk menunjang segala aktivitasnya. Hal ini disebabkan karena perkembangan teknologi yang terus meningkat setiap harinya. Perkembangan ini tentu berbanding lurus dengan konsumsi energi listrik, sehingga menyebabkan terjadinya penurunan kualitas energi listrik yang tersalurkan kepada konsumen (Augusta, 2018). Khususnya pada sistem distribusi tenaga listrik. Penurunan kualitas sistem distribusi tenaga listrik dikarenakan adanya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada sistem dalam jumlah yang besar. Hal tersebut menyebabkan energi listrik yang sampai ke konsumen kualitasnya kurang baik. Jaringan distribusi merupakan jaringan listrik yang berhubungan langsung dengan sisi beban atau konsumen. Tegangan pada jaringan distribusi biasanya 20 kV, 11 kV, atau 6 kV (M. Sulaiman, 2015).

Dalam penyaluran tenaga listrik terjadi rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada sistem diakibatkan jarak yang jauh antara pusat pembangkitan dan pusat beban, sehingga kualitas energi listrik yang dihasilkan mengalami penurunan dan berdampak bagi konsumen. Salah satu solusi untuk mengurangi rugi daya dan jatuh tegangan adalah dengan memasang pembangkit terdistribusi atau *Distributed Generation* (DG). Pembangkit terdistribusi ini memiliki kapasitas daya yang lebih kecil dibandingkan dengan pembangkit utamanya (Santoso, 2020)

Distributed generation merupakan integrasi dari energi terbarukan skala kecil dan energi non-terbarukan menjadi suatu sistem distribusi konvensional dengan tujuan untuk menyuplai energi listrik yang dekat dengan konsumen (Bansal, 2017). DG menghasilkan daya listrik yang berbeda-beda, karena pembangkit terdistribusi ini menyesuaikan dengan potensi yang ada di wilayah sekitarnya.

suatu pembangkit tenaga listrik dekat dengan pusat beban, maka akan ilkan efisiensi yang besar, baik itu pada jaringan transmisi maupun (Bollen, 2011).



Distributed Generation terhubung lebih dekat dengan pusat beban daripada pembangkit listrik skala besar atau pembangkit utama. Karena jarak yang lebih dekat, maka akan mengurangi rugi-rugi daya dan jatuh tegangan yang terjadi pada sistem. Penempatan dari DG tidak terpusat pada satu titik saja, melainkan dapat disalurkan sepanjang jaringan distribusi, namun tetap menyesuaikan dengan potensi yang dimiliki oleh setiap wilayah. Interkoneksi *distributed generation* pada jaringan distribusi memberi dampak yang baik pada peningkatan kualitas tenaga listrik. Penerapan DG memberikan sumber energi listrik tambahan pada suatu jaringan distribusi tenaga listrik (Bansal, 2017).

Berdasarkan jenis injeksi ke sistem DG terbagi menjadi empat jenis, yaitu DG tipe 1 dengan injeksi daya aktif seperti panel surya, DG tipe 2 dengan injeksi daya reaktif, seperti kapasitor dan kompensator, DG tipe 3 dengan injeksi daya aktif dan reaktif seperti generator sinkron, serta DG tipe 4 dengan injeksi daya aktif dan menyerap daya reaktif, seperti generator induksi (Sa'ed et al., 2019).

Berbagai penelitian telah dilakukan penelitian penempatan dan penentuan kapasitas DG optimal dengan berbagai metode kecerdasan buatan, tetapi DG yang digunakan adalah tipe pembangkit yang menginjeksi daya aktif pada sistem. Sedangkan untuk penempatan DG dengan tipe injeksi daya reaktif digunakan peralatan seperti kapasitor dan kompensator. Tito Wiratsongko dkk dalam penelitian berjudul "*Optimasi Penempatan Kapasitor Bank Untuk Mereduksi Rugi Daya Menggunakan Metode Flower Pollination Algorithm pada Jaringan Auxiliary Load PT.PJB Pembangkitan Indramayu 3x330 MW*" didapatkan penurunan rugi daya aktif dan rugi daya reaktif pada jaringan *auxiliary load* (Wiratsongko et al., 2017). Selain itu, Zulfahri dan Zondra dalam penelitian berjudul "*Optimasi Penempatan Optimal Peralatan SVC Dengan Metode Algoritma Genetika*" didapatkan penempatan peralatan SVC berdasarkan metode kombinasi fungsi objektif secara tepat. Penempatan SVC yang optimal dapat memperbaiki tegangan, sehingga memenuhi kebutuhan daya reaktif (Zulfahri & Zondra, 2020).



aya reaktif merupakan daya yang digunakan dalam pembentukan medan Untuk membangkitkan daya reaktif dapat digunakan peralatan seperti , kompensator, dan generator sinkron. Tujuan pemasangan peralatan

kompensasi daya reaktif adalah untuk mengurangi rugi-rugi daya yang terjadi pada sistem serta meningkatkan profil tegangan pada sistem. Untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam mengurangi rugi-rugi daya dan meningkatkan tegangan maka diperlukan metode optimasi berdasarkan fungsi objektif dan fungsi batasan dalam menyelesaikan permasalahan pada sistem distribusi.

Oleh karena itu akan dilakukan penelitian berjudul “Optimasi Penempatan *Distributed Generation* (DG) Injeksi Daya Reaktif dengan Menggunakan Metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA)”. Penelitian ini bertujuan untuk menempatkan *distributed generation* dengan injeksi daya reaktif (DG tipe 2) atau peralatan kompensasi daya reaktif secara tepat untuk mengurangi adanya rugi-rugi daya serta meningkatkan profil tegangan pada sistem distribusi tenaga listrik. Pada penelitian ini akan digunakan model sistem distribusi 33 bus dan 69 bus sesuai dengan standar *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) dan sistem distribusi di sistem Sulbagsel dengan menggunakan metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA) atau Algoritma Penyerbukan Bunga. FPA merupakan metode optimasi sistem yang terinspirasi dari alam, yaitu dari proses penyerbukan bunga pada tanaman. Metode FPA digunakan pada penelitian ini karena lebih efisien dalam proses optimasi dibandingkan dengan *Genetic Algorithm* dan *Particle Swarm Optimization* (Santoso, 2020).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana mengoptimalkan penempatan lokasi dan kapasitas DG tipe 2 (peralatan kompensasi daya reaktif) dalam mengurangi rugi-rugi daya dan meningkatkan profil tegangan pada sistem distribusi menggunakan metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA)?
 2. Bagaimana pengaruh yang terjadi pada sistem distribusi sebelum dan setelah diterapkannya penempatan DG tipe 2 (peralatan kompensasi daya aktif) optimal dengan metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA)?
- Bagaimana efektifitas metode FPA dalam penempatan DG tipe 2 atau peralatan kompensasi daya reaktif?



1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk menentukan lokasi dan kapasitas DG tipe 2 (peralatan kompensasi daya reaktif) dalam mengurangi rugi-rugi daya dan meningkatkan profil tegangan pada sistem distribusi menggunakan metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA).
2. Untuk mengetahui pengaruh yang terjadi pada sistem distribusi sebelum dan setelah diterapkannya penempatan DG tipe 2 (peralatan kompensasi daya reaktif) dengan metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA).
3. Untuk menguji efektifitas metode FPA dalam penempatan DG tipe 2 atau peralatan kompensasi daya reaktif.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan referensi mengenai optimasi penempatan dan kapasitas peralatan kompensasi daya reaktif pada sistem distribusi tenaga listrik dalam mengurangi rugi-rugi daya dan meningkatkan profil tegangan pada sistem.
2. Memberikan referensi mengenai penerapan metode penyerbukan bunga dalam optimasi penempatan dan kapasitas DG (peralatan kompensasi daya reaktif).
3. Dapat menjadi referensi bagi pihak perusahaan, khususnya yang terfokus pada sistem distribusi untuk menggunakan metode penyerbukan bunga untuk digunakan dalam perencanaan ataupun pengembangan sistem distribusi.
4. Dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya sehubungan dengan optimasi penempatan dan kapasitas DG (peralatan kompensasi daya reaktif) dengan metode penyerbukan bunga.



1.5 Batasan Masalah

Dalam menyelesaikan masalah dalam penelitian ini, terdapat batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Sistem distribusi yang digunakan adalah sistem distribusi radial IEEE 33 bus dan 69 bus.
2. Metode analisis aliran daya yang digunakan adalah *Backward and Forward Sweep* (BFS).
3. DG yang digunakan adalah DG tipe 2 yang menginjeksi daya reaktif atau peralatan kompensasi daya reaktif.
4. Peralatan kompensasi daya reaktif tidak dibahas secara rinci.
5. Metode optimasi yang digunakan adalah Metode Penyerbukan Bunga atau *Flower Pollination Algorithm* (FPA).
6. Optimasi bertujuan untuk mengurangi rugi-rugi daya dan meningkatkan profil tegangan pada sistem distribusi.
7. Optimasi tidak memperhitungkan biaya ekonomis.

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut merupakan sistematika penulisan tugas akhir pada penelitian ini:

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB III METODE PENELITIAN

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



BAB IV**ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

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

BAB V**KESIMPULAN DAN SARAN**

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

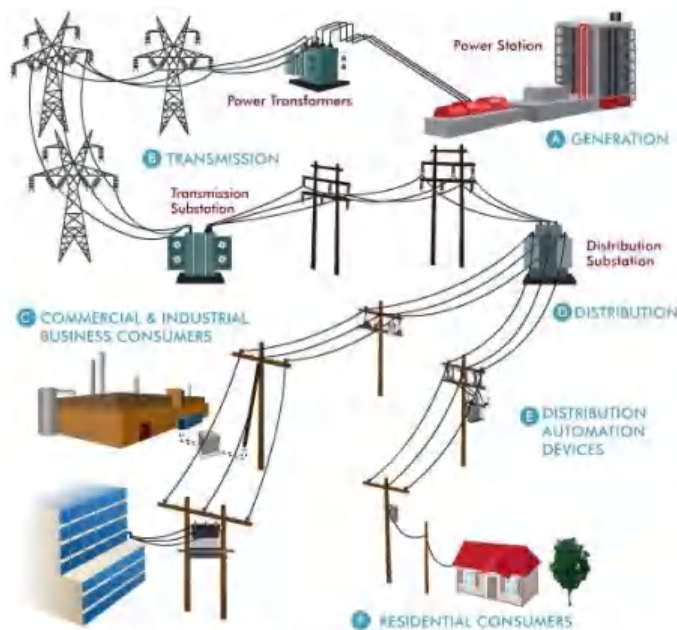


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Secara umum, sistem tenaga listrik terdiri dari unit pembangkitan, saluran transmisi, dan jaringan distribusi tenaga listrik. Ketiga bagian tersebut saling berhubungan satu sama lain untuk melayani kebutuhan energi listrik bagi konsumen. Secara garis besar, sistem tenaga listrik dapat digambarkan sebagai berikut: (Suswanto, 2009).



Gambar 1 Sistem tenaga listrik

Sumber: (<https://instrumentationtools.com/electrical-power-distribution/>)

Berikut penjelasan dari bagian-bagian dari sistem tenaga listrik: (Suripto, 2017)

1. Pembangkitan Tenaga Listrik

Unit pembangkitan merupakan komponen sistem tenaga listrik yang terdiri dari generator pembangkit tenaga listrik yang digerakkan oleh turbin. Unit pembangkitan berfungsi untuk membangkitkan tenaga listrik dengan cara mengubah energi primer yang berasal dari sumber energi lain, misalnya air, batu bara, panas bumi atau minyak bumi menjadi energi listrik. Pada sistem pembangkitan, level tegangan disesuaikan dengan spesifikasi dan kapasitas



generator pembangkit yang digunakan, biasanya berkisar antara 4,5 s/d 20 kV.

2. Transmisi Tenaga Listrik

Transmisi tenaga listrik merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkitan listrik hingga saluran distribusi listrik sehingga nantinya sampai pada konsumen. Sistem penyaluran tenaga listrik yang beroperasi pada TT (Tegangan Tinggi), TET (Tegangan Ekstra Tinggi), dan TUT (Tegangan Ultra Tinggi). Tegangan saluran transmisi umumnya berkisar antara 70 kV sampai dengan 500 kV.

3. Distribusi Tenaga Listrik

Jaringan distribusi merupakan komponen sistem tenaga listrik yang terdiri dari penghantar yang dibentang mulai dari gardu induk sampai dengan lokasi pelanggan. Jaringan distribusi berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik dari gardu induk pusat beban ke lokasi konsumen/pelanggan energi listrik. Tegangan pada jaringan distribusi biasanya 20 kV, 11 kV, atau 6 kV (M. Sulaiman, 2015).

2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Jaringan distribusi adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang berupa jaringan penghantar yang menghubungkan antara gardu induk pusat beban dan pelanggan. Ruang lingkup jaringan distribusi meliputi seluruh komponen mulai penyulang atau *feeder* di dekat terminal sekunder trafo gardu induk hingga alat pembatas dan pengukur (APP) di pelanggan. Fungsi jaringan distribusi adalah mendistribusikan energi listrik ke pelanggan sesuai daya dan tegangan yang dibutuhkan. Jaringan distribusi merupakan komponen sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, sehingga kualitas jaringan distribusi langsung berpengaruh pada kenyamanan pelanggan (Suswanto, 2009).

Berdasarkan taraf tegangan kerjanya, jaringan distribusi dibedakan menjadi jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Jaringan distribusi atau jaringan tegangan menengah terletak antara gardu induk dengan gardu yang memiliki tegangan sistem lebih tinggi dari tegangan terpakai untuk n. Standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 6 kV, 10



kV, dan 20 kV (sesuai standar PLN). Sedangkan jaringan distribusi sekunder atau jaringan tegangan rendah berfungsi sebagai penyalur tenaga listrik dari gardu-gardu pembagi (gardu distribusi) ke pusat-pusat beban (konsumen tenaga listrik). Standar tegangan untuk jaringan distribusi sekunder adalah 380/220 V (Suripto, 2018).

2.3 Studi Aliran Daya

Energi listrik akan tersalurkan menuju ke beban, sehingga disebut aliran daya atau aliran beban. Studi aliran daya (*load flow analysis*) digunakan untuk menentukan tegangan, arus, daya aktif atau daya reaktif di berbagai macam titik atau bus pada jaringan listrik dalam kondisi operasi normal (Stevenson, 1990). Selain dipergunakan untuk perencanaan pengembangan sistem listrik pada masa mendatang, juga dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi sistem kelistrikan yang sudah ada.

Analisis aliran daya merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, faktor daya yang terdapat pada setiap simpul atau bus suatu sistem tenaga listrik. Perhitungan tersebut dilakukan pada kondisi normal, baik yang sedang berjalan saat ini maupun yang diharapkan akan berkembang di masa mendatang. Dengan analisis aliran daya listrik dapat diketahui efek-efek interkoneksi dengan sistem tenaga lain, beban yang baru, sistem pembangkit yang baru, dan saluran yang baru (Saadat, 1999).

Tujuan studi aliran daya untuk mengetahui besar vektor tegangan pada tiap bus dan besar aliran daya pada tiap cabang suatu jaringan untuk suatu kondisi beban tertentu dalam kondisi normal. Hasil perhitungan dapat digunakan untuk menelaah berbagai persoalan yang berhubungan dengan jaringan tersebut, yaitu meliputi hal-hal yang berhubungan dengan operasi jaringan yaitu: (Trisna Putra et al., 2019).

1. Pengaturan tegangan (*voltage regulation*), perbaikan faktor daya (power factor) jaringan, kapasitas kawat penghantar, termasuk rugi-rugi daya.
2. Perluasan atau pengembangan jaringan, yaitu menentukan lokasi yang tepat untuk penambahan bus beban baru dan unit pembangkitan atau gardu induk



3. Perencanaan jaringan, yaitu kondisi jaringan yang diinginkan pada masa mendatang untuk melayani pertumbuhan beban karena kenaikan terhadap kebutuhan tenaga listrik

Dalam analisis aliran daya terdapat empat buah besaran pada masing-masing bus jaringan yang ditinjau dan memegang peranan yaitu:

1. Daya aktif P (*active power*) dengan satuan megawatt (MW).
2. Daya reaktif Q (*reactive power*) dengan satuan mega volt ampere reactive (MVAR)
3. Besar tegangan $|V|$ (*magnitude*) dengan satuan kilovolt (kV)
4. Sudut fase tegangan θ (*angle*) dengan satuan radian. (Saadat, 1999)

Studi aliran daya secara umum disebut sebagai *load flow* yang merupakan inti dari analisis, perencanaan sebuah sistem tenaga listrik dan dibutuhkan untuk pengembangan dan operasi sistem tenaga listrik, serta penjadwalan pembangkit. Dan analisis aliran daya juga diperlukan pada analisis kestabilan transien dan studi *contingency*. Pada studi analisis aliran daya terdapat beberapa metode seperti Gauss-Seidel, Newton Raphson, Fast Decouple dan metode lainnya (Adhiyatma et al., 2014).

2.3.1 Metode *Backward Forward Sweep*

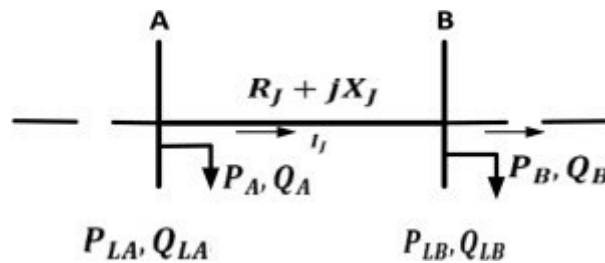
Metode *Backward Forward Sweep* (BFS) adalah studi aliran daya yang secara umum digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan dari masing-masing bus, besarnya nilai arus dan daya yang mengalir pada sistem. Untuk mempermudah dalam menganalisa dan pemantauan suatu sistem distribusi dan transmisi (Novialifiah et al., 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 (Adhiyatma et al., 2014).



Metode *backward forward sweep* menggunakan prinsip hukum kirchoff hitungan arus. Langkah kerja metode BFS yang pertama adalah *backward* dengan menghitung besar arus yang mengalir pada saluran dari bus paling

akhir hingga awal. Yang kedua adalah *forward sweep* untuk menghitung nilai drop tegangan (*voltage drop*) pada setiap saluran dengan mengalikan nilai arus yang telah dihitung sebelumnya dengan nilai impedansi salurannya (Muntowifah, 2014).

Metode BFS digunakan untuk mengatasi masalah dari analisis aliran daya pada sistem distribusi radial. Gambar 2 menunjukkan dua jaringan sederhana pada sistem distribusi radial. *Branch* atau cabang J menghubungkan antara bus A dan bus B.



Gambar 2 Jaringan sederhana pada sistem distribusi radial
Sumber: (Mohamed et al., 2021)

Daya aktif P_A dan daya reaktif Q_A mengalir dari bus A ke bus B dapat ditentukan secara *backward* sebagai berikut:

$$P_A = P_B + P_{LB} + R \left(\frac{(P_B + P_{LB})^2 + (Q_B + Q_{LB})^2}{|V_B|^2} \right) \quad (1)$$

$$Q_A = Q_B + Q_{LB} + X \left(\frac{(P_B + P_{LB})^2 + (Q_B + Q_{LB})^2}{|V_B|^2} \right) \quad (2)$$

Tegangan pada tiap bus dapat dihitung secara *forward* dengan:

$$V_B^2 = V_A^2 - 2(P_A R + Q_A X) + \left(\frac{(R^2 + X^2) + (P_A^2 + Q_A^2)}{V_A^2} \right) \quad (3)$$

Sehingga rugi daya aktif dan rugi daya reaktif pada cabang J dapat ditentukan sebagai:

$$P_{loss(J)} = R_J \left(\frac{(P_A^2 + Q_A^2)}{|V_A|^2} \right) \quad (4)$$

$$Q_{loss(J)} = X_J \left(\frac{(P_A^2 + Q_A^2)}{|V_A|^2} \right) \quad (5)$$

Jadi, total rugi-rugi daya aktif dan reaktif pada sistem distribusi radial dapat direpresentasikan sebagai:

$$P_{loss} = \sum_{J=1}^{br} P_{loss(J)} \quad (6)$$

$$Q_{loss} = \sum_{J=1}^{br} Q_{loss(J)} \quad (7)$$



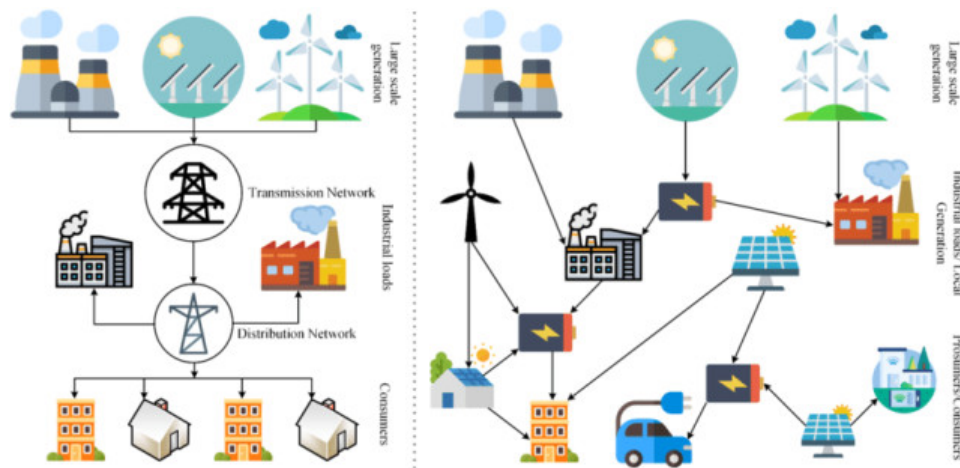
Keterangan :

P_A	: Daya aktif pada bus A
P_B	: Daya aktif pada bus B
Q_A	: Daya reaktif pada bus A
Q_B	: Daya reaktif pada bus B
P_{LB}	: Daya aktif pada beban bus B
Q_{LB}	: Daya reaktif pada beban bus B
V_A	: Tegangan pada bus A
V_B	: Tegangan pada bus B
R	: Resistansi saluran
X	: Reaktansi saluran
P_{loss}	: Rugi daya aktif
Q_{loss}	: Rugi daya reaktif
TP_L	: Total rugi daya aktif
TQ_L	: Total rugi daya reaktif
J/j	: Percabangan

2.4 *Distributed Generation*

Distributed Generation (DG) merupakan generator – generator yang terdistribusi (tersebar) dalam sistem tenaga listrik yang dipasang guna menginjeksikan daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) untuk memperbaiki profil tegangan, meningkatkan keandalan atau dengan kata lain memperbaiki keadaan sistem distribusi. *Distributed generation* memiliki ukuran yang lebih kecil daripada pembangkit utama dan letaknya dalam sistem tenaga listrik yaitu lebih dekat dengan beban – beban sistem atau dengan kata lain pada jaringan distribusi (Silalahi et al., 2017).





Gambar 3 *Centralised dan distributed power generation system*
 Sumber: (Khorasany, 2019)

DG sering disebut juga dengan *on-site generation*, *dispersed generation*, *embedded generation*, *decentralized generation*, atau *distributed energy*. Secara mendasar, DG menghasilkan energi listrik dari beberapa sumber energi yang berkapasitas kecil dan dihubungkan langsung pada jaringan distribusi. Adapun sumber energi tersebut berasal dari energi terbarukan. Diantaranya adalah turbin angin, tenaga air berskala kecil (mikrohidro), biomassa, *photovoltaic* (PV) atau yang lebih dikenal dengan sel surya (*solar cell*), dan *fuel cell* (Muntowifah, 2014).

DG dapat didefinisikan sebagai pembangkit tenaga listrik pada jaringan distribusi atau pada sisi jaringan pelanggan. Maksimum *rating* dari DG yang dapat dikoneksikan pada jaringan distribusi tergantung dari kapasitas jaringan distribusi, yang berkorelasi dengan tingkat tegangan dalam jaringan distribusi. Misalnya DG dengan kapasitas pembangkit 100 – 150 MW tidak dapat dihubungkan pada tingkat tegangan 110 kV karena terkendala masalah teknis. *Rating* dari kapasitas pembangkit DG dapat dilihat pada tabel berikut: (Putra et al., 2012).

Tabel 1 Kapasitas DG

Kapasitas DG	Daya Terpasang
Mikro	1 W < 5 kW
Kecil	5 kW < 5 MW
Sedang	5 MW < 50 MW
Besar	50 MW < 300 MW

Sumber: (Putra et al., 2012)



DG diklasifikasikan menjadi empat tipe berdasarkan kemampuan daya yang diinjeksikan ke sistem sebagai berikut (Pradeepa H., 2015):

1. Tipe 1 : Merupakan DG dengan kemampuan injeksi daya aktif pada sistem seperti photovoltaic, fuel cells, yang terintegrasi dengan jaringan utama dengan bantuan dari converter atau inverter.
2. Tipe 2 : Merupakan DG dengan kemampuan injeksi hanya daya reaktif pada sistem seperti turbin gas, kapasitor, dan *static var compensator*.
3. Tipe 3 : Merupakan DG dengan kemampuan injeksi daya aktif dan reaktif pada sistem seperti generator sinkron.
4. Tipe 4 : Merupakan DG dengan kemampuan injeksi daya aktif tetapi menyerap daya reaktif seperti generator induksi pada pembangkit tenaga angin. Tetapi, sistem dengan generator induksi ganda dapat menyerap atau menghasilkan daya reaktif seperti halnya dengan generator sinkron.

Tabel 2 Faktor daya tipe DG

Tipe DG	Faktor Daya (PF_{DG_i})
Tipe 1	$PF_{DG_i} = 1$
Tipe 2	$PF_{DG_i} = 0$
Tipe 3	$0 < PF_{DG_i} < 1$ (<i>lagging</i>)
Tipe 4	$0 < PF_{DG_i} < 1$ (<i>leading</i>)

Sumber: (Sa'ed et al., 2019)

2.5 Pembangkitan Daya Reaktif

Daya reaktif adalah daya yang diperlukan dalam pembentukan medan magnet. Daya reaktif biasanya terdapat pada transformator, motor-motor listrik dan peralatan induksi lainnya. Menurut sifatnya, daya reaktif terbagi menjadi dua yaitu daya reaktif induktif dan daya reaktif kapasitif. Daya reaktif induktif berbentuk energi magnetis sebagai pembangkit fluks sedangkan daya reaktif kapasitif adalah daya reaktif yang dihasilkan oleh kapasitor (Shintawaty, 2013).

Daya reaktif berperan besar dalam peristiwa jatuh tegangan pada saluran transmisi dan bus sistem tenaga. Untuk mengatasi jatuh tegangan pada bus sistem maka dapat dilakukan beberapa cara, antara lain: meningkatkan tegangan pada pembangkit tenaga listrik, meningkatkan tegangan bus, meningkatkan daya reaktif bus ini mengakibatkan arus lebih *lagging* sehingga daya reaktif dari generator bus besar dan dapat menurunkan daya aktif (Despa, 2009).



Agar efisiensi dan kemampuan operasi sistem tenaga meningkat, pengaturan tegangan dan daya reaktif harus memenuhi sasaran sebagai berikut: (Mutmainnah, 2013).

1. Tegangan terminal pada semua peralatan dalam sistem berada pada batas yang telah ditentukan.
2. Kestabilan sistem ditingkatkan untuk memaksimalkan penggunaan sistem. Tegangan dan pengontrolan daya reaktif akan berdampak pada kestabilan sistem.
3. Mengurangi rugi-rugi daya untuk memaksimalkan penyaluran energi listrik.

Pembangkitan daya reaktif dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa peralatan antara lain kapasitor, pengubah tap transformator, *static var compensator* (SVC), dan lain-lain. Daya reaktif yang diserap atau dibangkitkan secara otomatis disesuaikan untuk menjaga tegangan bus yang terhubung dengan peralatan tersebut, dan secara bersama-sama dengan pembangkit untuk mempertahankan tegangan pada titik yang ditentukan pada sistem tenaga listrik (Isna, 2020)

Pengaturan daya reaktif dan tegangan dilakukan dengan mengatur produksi dan penyerapan daya reaktif pada setiap bagian dari sistem tenaga listrik. Selain pengaturan pada sisi pembangkit, yaitu dengan pengaturan eksitasi generator, pengaturan peralatan tegangan lain harus dilakukan untuk menjaga tegangan di keseluruhan sistem tetap pada batas yang diperbolehkan. Peralatan tambahan tersebut salah satunya adalah sumber atau beban daya reaktif, seperti *capacitor bank* dengan *power factor control*. Selain itu dapat juga digunakan transformator pengatur, seperti transformator yang dilengkapi dengan pengaturan tap (Krisida, 2011).

2.5.1 Kapasitor

Kapasitor adalah komponen elektronika yang menghasilkan daya reaktif pada jaringan. Fungsi kapasitor adalah untuk memperbaiki faktor daya, mengurangi kerugian daya (*losses*) dan pengatur tegangan. Kapasitor bekerja dengan cara kompensasi daya reaktif pada sistem (Basyarach, 2017). Pada saluran transmisi, beban yang bersifat induktif akan menyerap daya reaktif, kemudian mengembalikan tegangan di sisi penerima. Maka kapasitor berfungsi dalam



mengkompensasi daya reaktif dan memastikan tegangan terjaga pada standar kerjanya pada beban penuh (Dermawan et al., 2019).

Pada sistem distribusi, kapasitor biasanya digunakan untuk mengkompensasi daya reaktif. Tujuannya agar rugi-rugi daya dapat dikurangi dan meningkatkan profil tegangan pada sistem distribusi. Umumnya, kapasitor yang digunakan dalam satuan kVAR. Standar kapasitor yang tersedia dipasaran adalah 50 kVAR, 100 kVAR, 150 kVAR, 200 kVAR, 300 kVAR, dan 400 kVAR (Electrical4U, 2020).

2.5.2 *Static VAR Compensator*

Static VAR Compensator (SVC) adalah alat yang dapat menghasilkan atau menyerap daya reaktif statis yang dihubungkan paralel dan mempunyai keluaran (*output*) yang bervariasi untuk menjaga atau mengontrol parameter spesifik dari suatu sistem tenaga listrik. SVC terdiri dari komponen TCR (*Thyristor Controlled Reactor*), TSC (*Thyristor Switched Capacitor*) dan FC (*Filter Capacitor*). Filter harmonisa terhubung paralel dengan TCR yang berfungsi untuk mengatasi harmonisa yang dihasilkan oleh TCR. Prinsip kerja SVC adalah dengan mengatur sudut penyalan thyristor, sehingga dapat mengatur keluaran daya reaktif dari SVC (M. Sulaiman, 2015). Tujuan utama pemasangan SVC adalah untuk menjaga perubahan tegangan pada bus dalam jaringan transmisi dan distribusi serta untuk meningkatkan stabilitas tegangan dengan cara menyuntikkan daya reaktif dengan mengendalikan arus kapasitif atau arus induktif (Zulfahri & Zondra, 2020).

2.6 Daya Listrik

Daya listrik adalah suatu kapasitas atau kemampuan melakukan energi atau usaha. Besaran dari daya adalah usaha dalam satuan waktu. Sedangkan daya listrik yaitu bagian dari besarnya beda potensial, kuat arus, hambatan, dan waktu. Daya listrik didefinisikan sebagai laju energi yang dibutuhkan. Daya listrik ini berkaitan dengan energi listrik tiap detik. Satuan daya listrik dalam satuan internasional

att. Satu watt adalah besar daya ketika energi satu joule dibebaskan dalam waktu 1 detik, Berikut persamaan daya listrik (Ponto, 2018):

$$= \frac{W}{t} \quad (8)$$



Keterangan:

P : daya aktif (Watt)

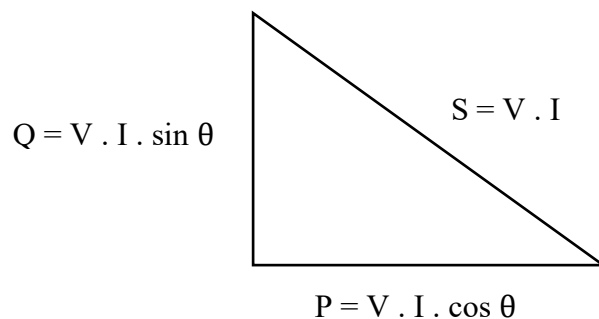
W : usaha (Joule)

t : waktu (sekon)

Pada sistem tenaga listrik terdapat perbedaan antara daya atau kekuatan (*power*) dan energi. Energi adalah daya dikalikan waktu, sedangkan daya listrik merupakan hasil perkalian tegangan dan arusnya, dengan satuan daya listrik yaitu watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu (Joule/s). Daya listrik (P) yang dihasilkan oleh arus listrik (I) pada tegangan (V) dinyatakan dengan Persamaan (9) (Monantun, 2014).

$$P = V \cdot I \cdot \cos \theta \quad (9)$$

Dalam sistem listrik arus bolak-balik terdapat 3 jenis daya, yaitu daya aktif (*active power*), daya reaktif (*reactive power*), dan daya semua (*apparent power*). Gambar 4 menunjukkan segitiga daya listrik (Ponto, 2018).



Gambar 4 Segitiga Daya Listrik

Berikut adalah penjelasan segitiga daya (Ponto, 2018):

a. Daya nyata atau *real power*

Daya aktif atau daya nyata disimbolkan dengan P. Daya ini melakukan "kerja nyata" didalam sebuah rangkaian listrik. Daya nyata diukur dalam satuan Watt yang didefinisikan sebagai daya yang dikonsumsi oleh bagian resistif dari rangkaian. Daya nyata (P) dalam rangkaian AC adalah daya yang sama dengan daya yang terdapat pada rangkaian DC.

Daya reaktif atau *reactive power*

Daya reaktif disimbolkan dengan (Q) adalah daya yang dikonsumsi pada rangkaian AC dimana daya ini tidak melakukan kerja se-signifikan daya



nyata akan tetapi mempunyai pengaruh yang besar pada perbedaan antara gelombang tegangan dan gelombang arus. Daya reaktif berhubungan langsung dengan reaktansi yang dihasilkan oleh induktor dan kapasitor dan mentralkan efek daya nyata.

c. Daya semu atau *Apparent Power*

Daya semu disimbolkan dengan (S) adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan rms dan arus rms dalam suatu jaringan atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri daya aktif dan daya reaktif. Satuan daya semu adalah VA.

2.7 Rugi Daya Listrik

Rugi daya mencerminkan adanya daya yang terbuang sehingga mengakibatkan daya yang diterima disisi penerima lebih kecil dari daya yang dikirim pada sisi pengirim. Pembuangan daya ini dikonversikan dalam bentuk panas pada sistem transmisi selama selang waktu tertentu. Sehingga energi yang diterima pada sisi penerima lebih kecil dari energi yang dikirim (Kuwahara & Arismunandar, 1991).

Dalam penyalurannya, tenaga listrik mengalami rugi – rugi daya listrik yang besar karena luasnya daerah yang membutuhkan suplai tenaga listrik dari jaringan distribusi. Rugi-rugi daya listrik pada saluran distribusi dibagi menjadi 2 bagian yaitu: rugi-rugi daya aktif dan rugi-rugi daya reaktif (Monantun, 2014).

2.7.1 Rugi daya aktif

Rugi-rugi daya aktif Besar rugi daya aktif ditentukan oleh kuadrat arus (I^2) dan resistansi jaringan (R) yang merupakan representasi jarak saluran. Dengan kata lain, elemen yang paling berpengaruh terhadap besarnya rugi – rugi daya aktif adalah besarnya arus dan besarnya resistansi jaringan. Resistansi jaringan akan sangat dipengaruhi oleh jarak saluran itu sendiri. Rugi-rugi daya aktif per phasa dapat dilihat pada persamaan berikut (Monantun, 2014):

$$P_r = I^2 \cdot R \quad (10)$$

an:

: rugi daya aktif (Watt)

arus yang mengalir dalam jaringan (Ampere)



R : hambatan dalam penghantar (Ohm)

2.7.2 Rugi daya reaktif

Besar rugi daya reaktif ditentukan oleh kuadrat arus (I^2) dan reaktansi jaringan (X) yang merupakan representasi jarak saluran. Dengan kata lain, elemen yang paling berpengaruh terhadap besarnya rugi – rugi daya reaktif adalah besarnya arus dan besarnya reaktansi jaringan. Reaktansi jaringan akan sangat dipengaruhi oleh jarak saluran itu sendiri. Rugi-rugi daya reaktif per phasa dapat dilihat pada persamaan berikut (Monantun, 2014).:

$$Q_{loss} = I^2 \cdot X \quad (11)$$

Keterangan:

Q_{loss} : rugi daya aktif (VAR)

I : arus yang mengalir dalam jaringan (Ampere)

X : reaktansi dalam penghantar (Ohm)

2.8 Fungsi Objektif dan Fungsi Kendala

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

2.8.1 Fungsi objektif

Tujuan pengiriman daya reaktif adalah untuk mengurangi rugi-rugi daya aktif pada saluran distribusi (Kumar, 2016). Berikut merupakan persamaan matematis dari rugi-rugi daya aktif pada sistem distribusi:

$$f = \min \left(\sum_{i=1}^{i=nb-1} P_{loss(i)} \right) \quad (12)$$

Keterangan:

nb : jumlah saluran

i : saluran

$P_{loss(i)}$: rugi daya aktif pada bus i

f : rugi-rugi daya aktif pada saluran distribusi



2.8.2 Fungsi kendala

Dalam melakukan optimasi diperlukan batasan-batasan yaitu: (Mohamed et al., 2021).

1. Equality Constraints

Equality Constraints atau persamaan fungsi kendala adalah keseimbangan daya aktif dan daya reaktif yang dibangkitkan serta daya aktif dan daya reaktif yang digunakan, dinyatakan pada persamaan 9 dan persamaan 10.

$$P_{slack} + \sum_i^{No} P_{DG(i)} = \sum_i^{No} P_{load(i)} + \sum_{i,i+1}^{No} P_{loss(i,i+1)} \quad (13)$$

$$Q_{slack} + \sum_i^{No} Q_{SC(i)} = \sum_i^{No} Q_{load(i)} + \sum_{i,i+1}^{No} Q_{loss(i,i+1)} \quad (14)$$

2. Inequality Constraints

Inequality Constraints atau pertidaksamaan fungsi kendala dinyatakan dalam bentuk batasan operasi:

a. Fungsi Batasan Tegangan

Tegangan pada setiap bus berada diantara 0,95 pu sampai 1,05 pu.

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{max} \quad (15)$$

b. Fungsi Batasan Kapasitas DG

$$\sum P_{DG} \leq \sum_i^{No} P_{load(i)} \quad (16)$$

Keterangan:

- No : nomor bus
- br : nomor percabangan
- V_i : tegangan pada bus ke i
- V_{min} : tegangan minimum
- V_{max} : tegangan maksimum
- P_{DG} : daya aktif dari DG
- $P_{load(i)}$: daya aktif dari beban pada bus ke i
- P_{slack} : daya aktif pada *slack bus*
- Q_{slack} : daya reaktif pada *slack bus*



2.9 Flower Pollination Algorithm (FPA)

Penyerbukan dapat didefinisikan sebagai perpindahan serbuk sari ke kepala putik. Perpindahan serbuk ini bisa terjadi dengan bantuan penyerbuk seperti burung, serangga, dan hewan lain. Penyerbukan terdiri dari dua macam yakni penyerbukan sendiri dan penyerbukan silang. Penyerbukan sendiri terjadi jika serbuk sari dari satu bunga jatuh pada bunga tersebut atau bunga lain pada tumbuhan yang sama. Sedangkan penyerbukan silang terjadi jika serbuk sari dari satu bunga jatuh pada kepala putih tumbuhan yang berbeda (Djalal et al., 2017).

Terdapat empat kaidah dari penyerbukan yang kemudian disusun sebagai dasar dari FPA, yaitu:

1. Penyerbukan silang terjadi apabila serbuk sari jatuh dari bunga yang berasal dari tanaman yang berbeda. Penyerbukan ini mengikuti aturan dari *levy distribution* dengan melompat atau terbang dengan jarak yang jauh. Hal ini dikenal dengan proses penyerbukan global.
2. Penyerbukan sendiri terjadi apabila serbuk sari yang jatuh berasal dari bunga yang sama atau bunga yang lain dari tanaman yang sama. Proses ini dinamakan penyerbukan lokal.
3. *Flower constancy* adalah kumpulan penyerbuk dan tipe bunga. Hal ini merupakan suatu peningkatan dari proses penyerbukan bunga.
4. Penyerbukan lokal dan penyerbukan global dikontrol oleh suatu nilai antara 0 sampai 1 yang disebut *switch probability*.

Berdasarkan keempat kaidah tersebut, *switch probability* (p) digunakan untuk memilih tipe penyerbukan yang akan mengontrol proses optimasi pada iterasi (Rosyidah et al., 2017).

Terdapat dua langkah kunci dalam algoritma FPA, yaitu penyerbukan global dan penyerbukan lokal. Pada langkah penyerbukan global, serbuk sari dari bunga dibawa oleh hewan penyerbuk seperti serangga, dan serbuk sari dapat melakukan perjalanan jarak jauh karena serangga dapat terbang dan bergerak di daerah yang luas (Augusta, 2018). Penyerbukan global ditunjukkan pada persamaan

$$x_i^{t+1} = x_i^t + L (g_* - x_i^t) \quad (17)$$



Penyerbukan lokal ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \varepsilon(x_j^t - x_k^t) \quad (18)$$

Keterangan:

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

L = persamaan jarak terbang serangga atau kekuatan dari penyerbukan.

g_* = solusi terbaik pada iterasi yang sedang berlangsung

$x_j^t - x_k^t$ = solusi dari tanaman yang berbeda.

ε = angka acak antara 0 dan 1

Tabel 3 Analogi penyerbukan bunga dengan optimasi

Penyerbukan Bunga	Optimasi
Fenomena Penyerbukan	Permasalahan Optimasi
Populasi Bunga	Kandidat solusi
Tingkat Kecocokan Bunga	Fungsi Objektif f
Kejadian Usaha Penyerbukan	Iterasi
Gerak Penyerbukan Bunga	Pencarian Solusi pada Daerah Cakupan
Dipilih Individu yang Cocok	Keadaan Optimum

Sumber: (Djalal et al., 2017)

2.10 *State Of The Art*

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



Tabel 4 *State of the art*

No	Penulis	Judul Penelitian	Metode yang Digunakan	Hasil yang Dicapai	Perbedaan dengan Penelitian yang Diusulkan
1	Zulfahri dan Elvira (2020)	Optimasi Penempatan Optimal Peralatan SVC Dengan Metode Algoritma Genetika	<i>Genetic Algorithm</i> (GA)	Didapatkan penempatan peralatan SVC berdasarkan metode kombinasi fungsi objektif secara tepat. Penempatan SVC yang optimal dapat memperbaiki tegangan, sehingga memenuhi kebutuhan daya reaktif.	1. Sistem distribusi yang diteliti hanya IEEE 30 bus, sedangkan pada penelitian ini adalah IEEE 33 bus dan 69 bus. 2. Metode yang digunakan adalah GA, sedangkan pada penelitian ini adalah FPA.
2	Yoga Alif Augusta dan Wahyudi Budi Pramono (2019)	Optimasi Penempatan dan Kapasitas Multi DG Pada Sistem Distribusi dengan Metode <i>Flower Pollination Algorithm</i>	<i>Flower Pollination Algorithm</i> (FPA)	Optimasi penempatan dan kapasitas DG menggunakan metode FPA pada sistem radial IEEE 33 bus dapat menurunkan rugi-rugi daya aktif dan meningkatkan profil tegangan pada sistem.	1. Sistem distribusi yang diteliti hanya IEEE 33 bus, sedangkan pada penelitian ini adalah IEEE 33 bus dan 69 bus. 2. Jenis DG yang diinjeksikan berbeda. Pada penelitian Yoga dan Wahyudi menggunakan DG injeksi daya aktif, sedangkan pada penelitian ini menggunakan DG injeksi daya reaktif.



Lanjutan Tabel 4

No	Penulis	Judul Penelitian	Metode yang Digunakan	Hasil yang Dicapai	Perbedaan dengan Penelitian yang Diusulkan
3	Fa'ano Hia, Juningtyastuti, dan Susatyo Handoko (2015)	Optimasi Kapasitas DG Pada Sistem Distribusi Untuk Mengurangi Rugi Daya Menggunakan <i>Ant Colony Optimization</i>	<i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)	Didapatkan tiap variasi pengujian optimasi kapasitas DG menggunakan metode ACO memberikan penurunan rugi daya aktif pada sistem distribusi.	1. Sistem distribusi yang diteliti hanya IEEE 15 bus, sedangkan pada penelitian ini adalah IEEE 33 bus dan 69 bus. 2. Jenis DG yang diinjeksikan berbeda. Pada penelitian Fa'ano dkk menggunakan DG injeksi daya aktif, sedangkan pada penelitian ini menggunakan DG injeksi daya reaktif. 3. Metode yang digunakan adalah ACO, sedangkan pada penelitian ini adalah FPA.
4	Tito Wiratsongko, Tejo Sukmadi, dan Susatyo	Optimisasi Penempatan Kapasitor Bank Untuk Mereduksi Rugi Daya Menggunakan FPA pada Jaringan Auxiliary Load [1] PJB Pembangkitan dramayu 3x330 MW	<i>Flower Pollination Algorithm</i> (FPA)	Didapatkan penempatan kapasitor bank pada jaringan <i>auxiliary load</i> PT. PJB Pembangkitan Indramayu yang optimal di beberapa bus sehingga dapat menurunkan rugi-rugi daya aktif maupun daya reaktif.	1. Sistem yang diteliti adalah <i>auxiliary load</i> Pembangkitan Indramayu 3x330 MW, sedangkan pada penelitian yang ini adalah IEEE 33 bus dan 69 bus.



Lanjutan Tabel 4

No	Penulis	Judul Penelitian	Metode yang Digunakan	Hasil yang Dicapai	Perbedaan dengan Penelitian yang Diusulkan
5	Bobby Harold (2016)	Analisis Penempatan <i>Capacitor Bank</i> Untuk Meningkatkan Faktor Daya Akibat Pemasangan <i>Distributed Generation</i> (DG) Menggunakan Metode <i>Genetic Algorithm</i> (GA).	<i>Genetic Algorithm</i> (GA)	Setelah dilakukan penempatan kapasitor bank secara optimal didapatkan penurunan rugi daya aktif dan daya reaktif serta memenuhi batasan untuk tegangan dan faktor daya pada sistem distribusi.	1. Sistem distribusi yang diteliti hanya IEEE 33 bus, sedangkan pada penelitian ini adalah IEEE 33 bus dan 69 bus. 2. Metode yang digunakan adalah GA, sedangkan pada penelitian ini adalah FPA.
6	Dwiky Alif Satria (2015) 	Optimasi Penempatan DG Menggunakan Metode PSO pada Jaringan Distribusi Mikrogrid untuk meminimalisasi rugi Daya	<i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO)	Didapatkan hasil penempatan DG optimal dan rugi-rugi daya semakin kecil setelah dilakukannya optimasi.	1. Sistem distribusi yang diteliti hanya IEEE 34 bus, sedangkan pada penelitian ini adalah IEEE 33 bus dan 69 bus. 2. Jenis DG yang diinjeksikan berbeda. Pada penelitian Dwiky menggunakan DG injeksi daya aktif, sedangkan pada penelitian ini menggunakan DG injeksi daya reaktif. 3. Metode yang digunakan adalah PSO, sedangkan pada penelitian ini adalah FPA.

Lanjutan Tabel 4

No	Penulis	Judul Penelitian	Metode yang Digunakan	Hasil yang Dicapai	Perbedaan dengan Penelitian yang Diusulkan
7	Indra Sasmita, Agung Budi Muljono, dan I Made Ari Nratha (2016)	Penentuan Lokasi <i>Distributed Generation</i> (DG) Berdasarkan Faktor Sensivitas Rugi-Rugi dan Kapasitas Optimal Menggunakan Metode <i>Artificial Bee Colony</i> (ABC)	<i>Artificial Bee Colony</i> (ABC)	Didapatkan hasil optimasi kapasitas DG dapat mengurangi rugi daya pada saluran dan meningkatkan profil tegangan.	1. Sistem distribusi yang diteliti hanya IEEE 33 bus, sedangkan pada penelitian ini adalah IEEE 33 bus dan 69 bus. 2. Jenis DG yang diinjeksikan berbeda. Pada penelitian Indra dkk menggunakan DG injeksi daya aktif, sedangkan pada penelitian ini menggunakan DG injeksi daya reaktif. 3. Metode yang digunakan adalah ABC, sedangkan pada penelitian ini adalah FPA.
8	Sarfaraz Nawaz, Ajay Kumar Bansal, dan Mahaveer	<i>A Novel Analytical Technique for Optimal Allocation of Capacitors in Radial Distribution Systems</i>	<i>Novel Analytical</i> (NA)	Penempatan kapasitor shunt pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus dapat memperbaiki profil tegangan pada saluran dan mengurangi rugi daya.	1. Sistem distribusi yang diteliti hanya IEEE 33 bus, sedangkan pada penelitian ini adalah IEEE 33 bus dan 69 bus. 2. Metode yang digunakan adalah NA, sedangkan pada penelitian ini adalah FPA.

Lanjutan Tabel 4

No	Penulis	Judul Penelitian	Metode yang Digunakan	Hasil yang Dicapai	Perbedaan dengan Penelitian yang Diusulkan
9	Yustika Umi Fariyah (2015)	Optimasi Penempatan dan Kapasitas <i>Distributed Generation</i> Menggunakan Metode <i>Differential Evolution</i> Untuk Meminimalkan Rugi Daya	<i>Differential Evolution</i> (DE)	Perbandingan nilai rugi daya aktif sebelum dan setelah dilakukan pemasangan DG adalah cukup jauh. Selain itu taraf tegangan pada sistem juga menjadi meningkat setelah DG terpasang.	1. Sistem distribusi yang diteliti hanya IEEE 33 bus, sedangkan pada penelitian ini adalah IEEE 33 bus dan 69 bus. 2. Jenis DG yang diinjeksikan berbeda. Pada penelitian Yustika menggunakan DG injeksi daya aktif, sedangkan pada penelitian ini menggunakan DG injeksi daya reaktif. 3. Metode yang digunakan adalah DE, sedangkan pada penelitian diusulkan adalah FPA.
10	Neeraj Kanwar, 	<i>Genetic Algorithm based method for Capacitor Placement</i>	<i>Genetic Algorithm</i> (GA)	Setelah dilakukan penempatan kapasitor pada sistem distribusi radial dapat mengurangi rugi-rugi daya dan meningkatkan nilai tegangan .	1. Sistem distribusi yang diteliti hanya IEEE 69 bus, sedangkan pada penelitian ini adalah IEEE 33 bus dan 69 bus. 2. Metode yang digunakan adalah GA, sedangkan pada penelitian diusulkan adalah FPA.

Lanjutan Tabel 4

No	Penulis	Judul Penelitian	Metode yang Digunakan	Hasil yang Dicapai	Perbedaan dengan Penelitian yang Diusulkan
11	Muhammad Junaid Tahir, Muh. Babar Rasheed, dan Mohd Khairil (2022)	<i>Optimal Placement of Capacitors in Radial Distribution Grids via Enhanced Modified Particle Swarm Optimization</i>	<i>Modified Particle Swarm Optimization (MPSO)</i>	Didapatkan hasil yang efektif dalam mengurangi rugi daya aktif dan meningkatkan profil tegangan pada sistem distribusi radial setelah dilakukan penempatan kapasitor.	1. Metode yang digunakan adalah MPSO, sedangkan pada penelitian ini adalah FPA.
12	Y. Mohamed Shuaib, M. Surya K, dan C. Christofer Asir Rajan (2015)	<i>Optimal capacitor placement in radial distribution system using Gravitational Search Algorithm</i>	<i>Gravitational Search Algorithm (GSA)</i>	Dilakukan penempatan kapasitor dengan lokasi dan kapasitas optimal dapat mengurangi rugi daya aktif pada sistem distribusi radial.	1. Sistem distribusi yang diteliti IEEE 33,69, dan 85 bus, sedangkan pada penelitian ini adalah IEEE 33 bus dan 69 bus. 2. Metode yang digunakan adalah GSA, sedangkan pada penelitian ini adalah FPA.

