

SKRIPSI

**PENEMPATAN *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) OPTIMAL
DENGAN METODE ALGORITMA PENYERBUKAN BUNGA
MEMPERTIMBANGKAN ADANYA PEMBANGKIT BERBASIS
GENERATOR SINKRON SKALA KECIL**

Disusun dan diajukan oleh

**SAKINAH INDAH PRATIWI
D041181037**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENEMPATAN *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) OPTIMAL
DENGAN METODE ALGORITMA PENYERBUKAN BUNGA
MEMPERTIMBANGKAN ADANYA PEMBANGKIT
BERBASIS GENERATOR SINKRON SKALA KECIL**

Disusun dan diajukan oleh:

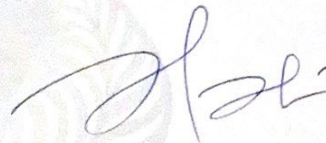
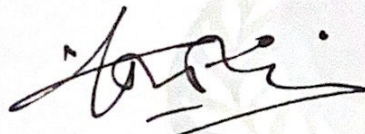
**SAKINAH INDAH PRATIWI
D041181037**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada Tanggal 14 Februari 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Ir. Muhammad Bachtiar Nappu, ST, M.Phil., Ph.D.
NIP. 19760406 200312 1 002

Dr. Hasniaty A., S.T., M.T.
NIP. 19741205 200122 2 001

Ketua Departemen Teknik Elektro,



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Sakinah Indah Pratiwi
NIM : D041181037
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

PENEMPATAN *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) OPTIMAL DENGAN
METODE ALGORITMA PENYERBUKAN BUNGA MEMPERTIMBANGKAN
ADANYA PEMBANGKIT BERBASIS GENERATOR SINKRON SKALA KECIL

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, 21 Februari 2023

Yang menyatakan



Sakinah Indah Pratiwi

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Penempatan *Distributed Generation* (DG) Optimal dengan Metode Algoritma Penyerbukan Bunga mempertimbangkan Adanya Pembangkit Berbasis Generator Sinkron Skala Kecil”.

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat kelulusan pada Pendidikan Strata (S1) Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini tanpa mengurangi rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu, yaitu:

1. Orang tua tercinta Ibu Patriani dan Bapak Ferry Anshar serta keluarga yang senantiasa mendoakan serta menyemangati penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bapak Ir. Muhammad Bachtiar Nappu, ST, M.Phil., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu Dr. Ir. Hasniaty A., S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, ide, dan saran dalam penulisan skripsi ini.
3. Ibu Ir. Ardiaty Arief, ST, MTM, Ph.D. dan Bapak Ir. Tajuddin Waris, MT. selaku Dosen Penguji yang telah meluangkan waktunya untuk menguji penulis serta memberikan kritik dan saran dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak/Ibu Dosen dan seluruh staf Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan banyak ilmu maupun pengalaman yang membantu dalam kelancaran penyusunan skripsi ini.

5. “SISIBA” (Eni, Senja, Ilma, Wana, Meyke, Calu, dan Nisa) yang selalu membantu dan menyemangati penulis dari awal masa perkuliahan hingga saat ini.
6. Teman-teman “CAL18RATOR” atas kebersamaan, kerjasama, pengalaman serta motivasinya selama masa perkuliahan hingga saat ini.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi kita semua dan semoga Allah SWT memberikan perlindungan kepada kita semua.

Gowa, 8 Februari 2023

Penulis

ABSTRAK

SAKINAH INDAH PRATIWI. *Penempatan Distributed Generation (DG) Optimal Dengan Metode Algoritma Penyerbukan Bunga Mempertimbangkan Adanya Pembangkit Berbasis Generator Sinkron Skala Kecil* (dibimbing oleh Muhammad Bachtiar Nappu dan Hasniaty A.)

Pemasangan generator terdistribusi atau *Distributed Generation* (DG) dapat mengurangi rugi-rugi daya dan juga memperbaiki profil tegangan pada jaringan distribusi. Dalam pemasangannya harus diperhatikan beberapa faktor penting, yaitu pemilihan teknologi, jumlah unit dan kapasitas, penempatan yang optimal, dan cara penyambungan yang benar. Penelitian ini dilakukan guna mengetahui kapasitas dan penempatan DG secara optimal dengan menggunakan metode algoritma penyerbukan bunga atau *Flower Pollination Algorithm* (FPA), yang mana pada penelitian ini dilakukan penempatan DG tipe 1 pada sistem IEEE 33 dan 69 bus yang diasumsikan telah terinjeksi pembangkit generator sinkron skala kecil (dapat dikategorikan sebagai DG tipe 3), untuk melihat pengaruh dari pertimbangan adanya generator tersebut pada penentuan kapasitas dan penempatan DG tipe 1 yang optimal. Hasil yang diperoleh ialah lokasi dan kapasitas DG optimal pada sistem IEEE 33 dan 69 bus yang diasumsikan terinjeksi dengan pembangkit berbasis generator sinkron skala kecil, yang mana pada sistem 33 bus, penempatan *single* DG pada bus 25 dengan kapasitas 687,972 kW, dan pada sistem 69 bus, penempatan *single* DG pada bus 17 dengan kapasitas 475,072 kW. Pengaruh dari penempatan DG tersebut pada sistem 33 bus ialah penurunan rugi daya aktif sebesar 13% dengan profil tegangan minimum sebesar 0,9690 pu, sedangkan pada sistem 69 bus terjadi penurunan rugi daya aktif sebesar 34% dengan profil tegangan minimum sebesar 0,9923 pu.

Kata Kunci: *Distributed Generation, Flower Pollination Algorithm, generator sinkron, rugi-rugi daya, profil tegangan*

ABSTRACT

SAKINAH INDAH PRATIWI. *Optimal Placement of Distributed Generation (DG) by Using Flower Pollination Algorithm Method Considering The Injected Small-Scale Synchronous Generator* (supervised by Muhammad Bachtiar Nappu and Hasniaty A.)

Installation of Distributed Generation (DG) can reduce power losses and also improve the voltage profile in distribution network. On the installation of DG, several important factors must be considered, which are selection of technology, number and capacity of units, optimal placement, and the correct method of installation. This research was conducted to determine the optimal capacity and placement of DG by using the Flower Pollination Algorithm (FPA) method, which in this research was carried out the placement of type 1 DG on IEEE 33 and 69 bus systems which were assumed to have been injected with small-scale synchronous generator (can be categorized as type 3 DG), to see the effect of considering the existence of the generator on increasing optimal capacity and placement of type 1 DG. The results obtained are the optimal location and capacity of DG on the IEEE 33 and 69 bus systems which were assumed to be injected with small-scale synchronous generator, which on 33-bus system, single DG placement on bus 25 with capacity of 687.972 kW, and on 69-bus system, single DG placement on bus 17 with capacity of 475.072 kW. The effects of the DG placement on the 33-bus system are a 13% reduction of active power loss with a minimum voltage profile is 0.9690 pu, while in the 69-bus system there are a 34% reduction active power loss with a minimum voltage is 0.9923 pu.

Keywords: Distributed Generation, Flower Pollination Algorithm, synchronous generator, power losses, voltage profile

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----|
| LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI | i |
| PERNYATAAN KEASLIAN..... | ii |
| KATA PENGANTAR..... | iii |
| ABSTRAK..... | v |
| <i>ABSTRACT</i> | vi |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR TABEL | ix |
| DAFTAR GAMBAR..... | x |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3. Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4. Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.5. Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.6. Metode Penelitian..... | 4 |
| 1.7. Sistematika Penulisan..... | 5 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1. Penelitian Terdahulu | 6 |
| 2.2. Sistem Tenaga Listrik | 7 |
| 2.2. Studi Aliran Daya..... | 9 |
| 2.3. Fungsi Objektif..... | 10 |
| 2.4. <i>Flower Pollination Algorithm</i> (FPA)..... | 12 |
| 2.5. <i>Distributed Generation</i> (DG)..... | 15 |
| 2.6. Generator Sinkron | 16 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 18 |
| 3.1. Rancangan Penelitian | 18 |
| 3.2. Waktu dan Tempat Penelitian | 18 |
| 3.3. Bahan dan Alat..... | 18 |
| 3.4. Teknik Pengambilan Data | 18 |
| 3.5. Alur Penelitian | 25 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 32 |
| 4.1. Optimasi DG Pada Sistem Distribusi IEEE 33 Bus | 33 |
| 4.2. Optimasi DG Pada Sistem Distribusi IEEE 69 Bus | 37 |
| 4.3. Optimasi DG Pada Sistem Distribusi IEEE 33 Bus Dengan Adanya Pembangkit Berbasis Generator Sinkron Skala Kecil | 41 |
| 4.4. Optimasi DG Pada Sistem Distribusi IEEE 69 Bus Dengan Adanya Pembangkit Berbasis Generator Sinkron Skala Kecil | 45 |
| 4.5. Optimasi DG Pada Sistem Distribusi IEEE 33 Bus Dengan Adanya Pembangkit Berbasis Generator Sinkron Skala Kecil dan Peningkatan Beban 30%..... | 49 |
| 4.6. Optimasi DG Pada Sistem Distribusi IEEE 36 Bus Dengan Adanya Pembangkit Berbasis Generator Sinkron Skala Kecil dan Peningkatan Beban 30%..... | 53 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| 4.7. Rekapitulasi Hasil Optimasi..... | 57 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 60 |
| 5.1. Kesimpulan | 60 |
| 5.2. Saran..... | 60 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 61 |
| LAMPIRAN | 63 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 1 Istilah dalam metode FPA | 13 |
| Tabel 2 Bus data dan line data sistem distribusi IEEE 33 bus..... | 21 |
| Tabel 3 Bus data dan line data sistem distribusi IEEE 69 bus..... | 22 |
| Tabel 4 Posisi dan keluaran DG optimal pada sistem 33 bus..... | 33 |
| Tabel 5 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan sebelum dan setelah pemasangan DG pada sistem 33 bus..... | 34 |
| Tabel 6 Perbandingan hasil optimasi penempatan single DG pada sistem distribusi IEEE 33 bus dengan berbagai metode | 36 |
| Tabel 7 Posisi dan keluaran DG optimal pada sistem 69 bus..... | 37 |
| Tabel 8 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan sebelum dan setelah pemasangan DG pada sistem 69 bus..... | 38 |
| Tabel 9 Perbandingan hasil optimasi penempatan single DG pada sistem distribusi IEEE 69 bus dengan berbagai metode | 41 |
| Tabel 10 Posisi dan keluaran DG optimal dengan adanya pembangkit berbasis generator sinkron pada sistem 33 bus | 42 |
| Tabel 11 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan sebelum dan setelah pemasangan DG dengan adanya pembangkit berbasis generator sinkron pada sistem 33 bus..... | 43 |
| Tabel 12 Posisi dan keluaran DG optimal dengan adanya pembangkit berbasis generator sinkron pada sistem 69 bus | 46 |
| Tabel 13 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan sebelum dan setelah pemasangan DG dengan adanya pembangkit berbasis generator sinkron pada sistem 69 bus..... | 46 |
| Tabel 14 Posisi dan keluaran DG optimal bus dengan adanya pembangkit berbasis generator sinkron dan peningkatan beban 30% pada sistem 33 bus..... | 50 |
| Tabel 15 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan sebelum dan setelah pemasangan DG dengan adanya pembangkit berbasis generator sinkron dan peningkatan beban 30 % pada sistem 33 bus..... | 51 |
| Tabel 16 Posisi dan keluaran DG optimal dengan adanya pembangkit berbasis generator sinkron dan peningkatan beban 30% pada sistem 69 bus..... | 54 |
| Tabel 17 Perbandingan rugi-rugi daya dan profil tegangan sebelum dan setelah pemasangan DG dengan adanya pembangkit berbasis generator sinkron dan peningkatan beban 30 % pada sistem 69 bus..... | 55 |
| Tabel 18 Rekapitulasi hasil optimasi | 58 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 1 Diagram satu garis sistem tenaga listrik (Lidya & Siregar, 2015)..... | 7 |
| Gambar 2 Single line diagram sistem distribusi radial IEEE 33 bus (Ruzi, 2016)..... | 19 |
| Gambar 3 Single line diagram sistem distribusi radial IEEE 69 bus (Ruzi, 2016)..... | 20 |
| Gambar 4 Diagram alur penelitian..... | 25 |
| Gambar 5 Diagram alir simulasi penelitian | 27 |
| Gambar 6 Diagram aliran daya BFS..... | 29 |
| Gambar 7 Diagram alir optimasi FPA | 30 |
| Gambar 8 Rugi-rugi daya pada sistem 33 bus | 34 |
| Gambar 9 Grafik profil tegangan sebelum dan setelah pemasangan DG pada sistem 33 bus..... | 36 |
| Gambar 10 Rugi-rugi daya pada sistem 69 bus | 38 |
| Gambar 11 Grafik profil tegangan sebelum dan setelah pemasangan DG pada sistem 69 bus..... | 40 |
| Gambar 12 Rugi-rugi daya pada sistem 33 bus dengan adanya pembangkit berbasis generator sinkron | 43 |
| Gambar 13 Grafik profil tegangan sebelum dan setelah pemasangan DG dengan adanya pembangkit berbasis generator sinkron pada sistem 33 bus..... | 45 |
| Gambar 14 Rugi-rugi daya pada sistem 69 bus dengan adanya pembangkit berbasis generator sinkron | 47 |
| Gambar 15 Grafik profil tegangan sebelum dan setelah pemasangan DG dengan adanya pembangkit berbasis generator sinkron pada sistem 69 bus..... | 49 |
| Gambar 16 Rugi-rugi daya pada sistem 33 bus dengan penambahan beban 30% dan adanya pembangkit berbasis generator sinkron | 51 |
| Gambar 17 Grafik Profil Tegangan Sebelum dan Setelah Pemasangan DG dengan adanya pembangkit berbasis generator sinkron dan peningkatan beban 30% pada sistem distribusi 33 bus..... | 53 |
| Gambar 18 Rugi-rugi daya pada sistem 69 bus dengan peningkatan beban 30% dan adanya pembangkit berbasis generator sinkron | 55 |
| Gambar 19 Grafik profil tegangan sebelum dan setelah pemasangan DG dengan adanya pembangkit berbasis generator sinkron dan peningkatan beban 30% pada sistem 69 bus..... | 57 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan teknologi yang makin berkembang, maka penggunaan energi listrik juga mengalami peningkatan. Energi listrik disuplai dari pembangkit ke beban melalui jaringan transmisi dan distribusi. Peningkatan penggunaan akan energi listrik tersebut meningkatkan rugi-rugi daya dan penurunan profil tegangan pada sistem, khususnya pada jaringan distribusi dikarenakan hambatan yang besar pada jaringan distribusi.

Untuk memperbaiki profil tegangan dan meminimalkan rugi-rugi daya dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti penempatan *capacitor bank*, rekonfigurasi jaringan, dan penempatan generator terdistribusi yang optimal. Metode penempatan generator terdistribusi secara optimal dinilai memiliki keunggulan yang lebih banyak dari dua metode lainnya jika dinilai dalam minimalisasi kerugian, penghematan biaya, *voltage support*, manajemen di sisi beban, *green power*, dan keandalan sistem (Luthfi et al., 2013). Pembangkit terdistribusi atau *Distributed Generation* (DG) menghasilkan energi listrik skala kecil yang terletak pada jaringan distribusi dan biasanya pada bus-bus yang secara langsung terhubung ke beban (Mahesh et al., 2016).

Pemasangan DG harus memperhatikan beberapa faktor penting seperti pemilihan teknologi, jumlah unit dan kapasitas, lokasi penempatan yang optimal serta cara penyambungan yang benar. Maka dari itu, pada penelitian ini akan dilakukan penentuan kapasitas dan penempatan DG yang optimal guna meminimalkan rugi-rugi daya dan penurunan profil tegangan pada sistem. Penelitian dilakukan menggunakan metode algoritma penyerbukan bunga atau *Flower Pollination Algorithm* (FPA).

FPA merupakan metode yang meniru proses seleksi penyerbukan atau polinasi bunga di alam. Pada metode ini digunakan konsep bunga dengan penampilan terbaik menjadi bunga yang terpolinasi oleh polinator, sebagai metode pengoptimasian sistem. Augusta (2018) menyatakan metode FPA lebih efisien dalam hal jumlah iterasi dan kecepatan mencapai konvergensi serta *error* yang dihasilkan, dari metode yang secara umum sering digunakan, yaitu *Particle Swarm Optimization* (PSO) dan *Genetic Algorithm* (GA).

Pada penelitian sebelumnya oleh Suresh & Belwin (2018) dilakukan penempatan masing-masing DG tipe 1 dan DG tipe 3 secara terpisah pada sistem distribusi IEEE 33 dan 69 bus. Untuk penelitian ini akan dilakukan penempatan DG tipe 1 pada sistem yang diasumsikan telah terinjeksi pembangkit generator sinkron skala kecil (dapat dikategorikan sebagai DG tipe 3), untuk melihat pengaruh dari pertimbangan adanya generator tersebut pada penentuan kapasitas dan penempatan DG tipe 1. Oleh karena itu, Penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul “PENEMPATAN *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) OPTIMAL DENGAN METODE ALGORITMA PENYERBUKAN BUNGA MEMPERTIMBANGKAN ADANYA PEMBANGKIT BERBASIS GENERATOR SINKRON SKALA KECIL”.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana penentuan kapasitas dan penempatan DG optimal mempertimbangkan adanya pembangkit berbasis generator sinkron skala kecil pada sistem distribusi radial dengan menggunakan metode FPA?
2. Bagaimana pengaruh penempatan DG terhadap profil tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem distribusi radial dengan pertimbangan adanya pembangkit berbasis generator sinkron skala kecil dengan menggunakan metode FPA?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Menentukan kapasitas dan penempatan DG secara optimal dengan pertimbangan adanya pembangkit berbasis generator sinkron skala kecil pada sistem distribusi radial dengan menggunakan metode FPA.
2. Mengetahui pengaruh dari penempatan DG terhadap profil tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem distribusi radial dengan pertimbangan adanya pembangkit berbasis generator sinkron skala kecil dengan menggunakan metode FPA.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Secara akademis, penelitian ini diharapkan dapat menambah referensi yang berkaitan dengan penempatan DG optimal di Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin
2. Secara praktis, penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi pihak Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin khususnya pada Riset Grup Sistem Tenaga.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Sistem distribusi yang digunakan pada penelitian ini merupakan sistem distribusi radial IEEE 33 bus dan 69 bus.
2. Perangkat lunak yang digunakan adalah MATLAB R2022a
3. DG yang akan dipasang merupakan DG tipe 1 yang berkapasitas maksimal 5 MW, dengan faktor daya ideal (100%), serta daya yang dihasilkan adalah daya aktif.
4. Diasumsikan DG terinjeksi langsung dengan bus beban tanpa ada rugi-rugi daya saluran antara DG dengan bus beban tersebut.

5. Profil tegangan yang dikehendaki setelah pemasangan DG adalah 0,95 – 1,05 pu sesuai standar IEEE.
6. Fokus penelitian adalah meminimalkan rugi-rugi daya dan memperbaiki profil tegangan pada sistem distribusi radial.
7. Diasumsikan adanya pembangkit berbasis generator sinkron skala kecil pada sistem distribusi yang digunakan pada penelitian.
8. Pada penelitian ini, pembangkit berbasis generator sinkron skala kecil tidak dibahas secara mendetail.

1.6. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah:

1. Studi literatur
Studi literatur berisi mengenai kajian atas referensi-referensi yang ada dengan cara pengadaan studi dari buku, jurnal, internet, maupun informasi lain yang dapat menunjang penulisan laporan penelitian.
2. Pengambilan data
Pengambilan data yang digunakan pada penelitian berupa data sekunder yang merupakan data yang diperoleh dari pihak lain. Data ini digunakan sebagai penunjang penelitian yang dilakukan.
3. Pengolahan data
Data penelitian yang digunakan diolah ke dalam bentuk perhitungan dan penggambaran dengan simulasi software.
4. Analisa hasil
Data hasil simulasi yang diperoleh dibandingkan dengan data sebelumnya sehingga didapatkan kesimpulan untuk diolah.
5. Simpulan
Simpulan pada penelitian dilakukan dengan mengaitkan hasil analisa data yang dilakukan dengan permasalahan dari penelitian, sehingga kaitan tersebut merupakan hasil akhir dari penelitian ini.

1.7. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari penelitian ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan teori-teori penunjang materi penelitian yang diambil dari berbagai sumber ilmiah yang digunakan dalam penulisan laporan penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas tentang rancangan penelitian, waktu dan tempat penelitian, bahan dan peralatan, teknik pengumpulan data, teknik analisis, serta langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil data yang diperoleh dari penelitian beserta dengan pembahasan mengenai hasil yang diperoleh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi uraian kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan secara keseluruhan dan saran untuk hal yang perlu dikaji untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Beberapa peneliti sebelumnya telah melakukan penelitian mengenai optimasi penempatan serta kapasitas DG, misalnya seperti penelitian yang dilakukan oleh Indra Sasmita, Agung Budi Muljono, dan I Made Ari Nnartha dengan judul penelitiannya “Penentuan Lokasi *Distributed Generation* (DG) Berdasarkan Faktor Sensitivitas Rugi-Rugi dan Kapasitas Optimal Menggunakan Metode *Artificial Bee Colony* (ABC)”. Dalam penelitian tersebut digunakan metode faktor sensitivitas rugi-rugi untuk lokasi DG dan kapasitas optimal menggunakan metode *Artificial Bee Colony* pada sistem distribusi radial IEEE 33 Bus. Hasil dari penelitian tersebut diperoleh penurunan rugi aktif menjadi 75,5417 kW setelah pemasangan DG (Sasmita et al., 2016).

Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Rohit Fanish dan Jitendra Singh Bhadoriya dengan judul “*Optimal Placement of Multi DG in 33 Bus System Using PSO*”. Pada penelitian ini dilakukan optimasi 1, 2, 3, dan 4 DG pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO). Hasil yang didapatkan dari penelitian, pada penempatan 1 DG rugi daya aktif sebesar 103,98 kW, pada penempatan 2 DG rugi daya aktif sebesar 93,47 kW, pada penempatan 3 DG rugi daya aktif sebesar 85,58 kW, dan pada penempatan 4 DG rugi daya aktif sebesar 82,98 kW (Fanish & Bhadoriya, 2015).

Terdapat juga penelitian yang dilakukan oleh Eyad S. Oda, Abdelazeem A. Abdelsalam, Mohamed N, Abdel-Wahab, dan Magni M. El-Saadawi dengan judul penelitiannya “*Distributed generation planning using flower pollination algorithm for enchancing distribution system voltage stability*”. Dalam penelitian tersebut dilakukan perbandingan optimasi pemasangan *single* dan *multi* DG antara FPA dan metode lain yaitu metode *Backtracking Search Optimization Algorithm* (BSOA), *Artificial Bee Colony* (ABC) dan *Clonal Selection Algorithm* (CSA). Hasil yang

didapatkan ialah optimasi menggunakan metode FPA lebih efektif dalam menurunkan rugi-rugi daya dibandingkan ketiga metode tersebut (BSOA, ABC, CSA). Yang mana pada sistem 33 bus untuk metode BSOA meminimalkan rugi daya hingga 89,34 kW, sedangkan rugi daya pada metode FPA hingga 89,20 kW. Untuk sistem 69 bus dengan metode ABC dan CSA masing-masing meminimalkan rugi daya hingga 90,51 kW dan 90,47 kW, sedangkan pada rugi daya pada metode FPA hingga 71,9 kW (Oda et al., 2015).

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh M. C. V. Suresh dan Edward J. Belwin dengan judul penelitian “*Optimal DG placement for benefit maximization in distribution networks by using Dragonfly algorithm*”. Di penelitian tersebut dilakukan perencanaan penempatan DG tipe I dan DG tipe III dengan faktor daya 0,9 p.u pada sistem distribusi IEEE 33 dan 69 bus dengan metode *Dragonfly Algorithm* (DA). Hasil yang diperoleh untuk sistem 33 bus ialah pada penempatan DG tipe I dan tipe III masing-masing diperoleh rugi daya aktif sebesar 111,0338 kW dan 70,8652 kW. Dan untuk sistem 69 bus pada penempatan DG tipe I dan III masing-masing rugi daya aktif yang diperoleh sebesar 82,22 kW dan 27,9636 kW (Suresh & Belwin, 2018).

2.2. Sistem Tenaga Listrik

Suatu sistem tenaga listrik terdiri atas sistem pembangkitan, transmisi dan distribusi. Secara umum rancangan (*lay out*) dari sistem tenaga listrik dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1 Diagram satu garis sistem tenaga listrik (Lidya & Siregar, 2015)

Sistem tenaga listrik tersebut dilengkapi pula dengan gardu-gardu induk dan perangkat perlengkapan lainnya (instrumen ukur dan proteksi/pengaman), yang

pada kenyataannya merupakan suatu sistem dan jaringan yang sangat kompleks (Wijaya, 2001).

2.2.1. Sistem Pembangkit

Sistem pembangkit ini adalah sistem dimana energi listrik di-“proses” dan di-“hasil”-kan, yang terdiri atas penggerak mula (*prime mover*), yang berupa perangkat mekanis untuk memutar kumparan generator dan generator itu sendiri. Sistem pembangkit ini terdiri atas bermacam-macam jenis dilihat dari beragam sudut pandang, misalnya dari segi keekonomisan, kontinuitas dan lain sebagainya (Wijaya, 2001).

2.2.2. Jaringan Transmisi

Pada umumnya sistem pembangkitan jauh dari tempat-tempat dimana energi listrik tersebut digunakan. Karenanya energi listrik yang dibangkitkan itu harus disalurkan melalui saluran transmisi. Karena tegangan generator umumnya rendah, antara 6 kV sampai dengan 24 kV, maka tegangan tersebut harus dinaikkan oleh transformator daya yang ada (*step up transformer*) dengan pertimbangan ekonomis (Wijaya, 2001).

2.2.3. Jaringan Distribusi

Pada dasarnya jaringan distribusi mirip dengan jaringan transmisi, yaitu jaringan sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik melalui konduktor-konduktor (kawat), yang membedakan hanyalah bahwa jaringan distribusi adalah jaringan transmisi energi listrik yang lebih ke hilir (konsumen), dimana tegangannya telah diturunkan oleh transformator penurun tegangan hingga mencapai tegangan menengah, pada jaringan transmisi tegangan cenderung sangat tinggi sekali sampai batas-batas ekstrim (*extra high voltage*) (Wijaya, 2001).

Jaringan distribusi tenaga listrik adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan pelanggan. Sistem ini terdiri dari sistem distribusi

tegangan menengah dan sistem distribusi tegangan rendah. Sistem distribusi tenaga listrik didefinisikan sebagai bagian dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan Pusat Pembangkit Tenaga Listrik, Transmisi Tenaga Listrik dan Gardu Induk dengan konsumen. Sistem distribusi tenaga listrik adalah sarana dari sistem tenaga listrik di dalam menyalurkan energi listrik ke konsumen. Dalam menyalurkan tenaga listrik ke konsumen dari pusat beban, suatu sistem distribusi tenaga listrik harus disesuaikan dengan kondisi setempat dengan memperhatikan faktor beban, perkembangan di masa mendatang, kendala, serta ekonomisnya (Syufrijal & Monantun, 2014).

2.2. Studi Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan studi yang mengungkapkan kinerja dan aliran daya (nyata dan reaktif) untuk keadaan tertentu ketika sistem bekerja. Studi aliran daya memberikan informasi mengenai beban saluran transmisi, *losses*, dan tegangan di setiap lokasi untuk evaluasi kinerja sistem tenaga listrik. Oleh sebab itu studi aliran daya sangat diperlukan dalam perencanaan serta pengembangan sistem di masa yang akan datang. Untuk menunjang bertambahnya konsumsi energi listrik harus diimbangi dengan peningkatan kualitas energi listrik. Caranya dengan melakukan analisis terhadap suatu sistem energi listrik. Pada sistem tenaga listrik perlu dilakukan beberapa analisis seperti analisis aliran daya, analisis stabilitas dan analisis hubung singkat. Analisis aliran daya dilakukan pada sistem tenaga dalam keadaan beroperasi normal untuk keperluan menentukan besar tegangan dan daya pada tiap busbar (Lidya & Siregar, 2015).

Studi aliran daya secara umum digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan dari masing-masing bus, besarnya nilai arus dan daya yang mengalir pada sistem. Dan untuk mempermudah dalam menganalisa dan pemantauan suatu sistem distribusi atau transmisi. Contoh beberapa macam metode aliran daya yang sudah ada (Novialifiah et al., 2014):

- Metode Gauss Seidel

- Metode Newton Raphson
- Metode Fast Decoupled

Namun metode-metode tersebut tidak selalu dapat dipakai terutama pada sistem distribusi radial yang memiliki perbandingan R/X yang tinggi serta memiliki perubahan beban yang tinggi. Sehingga metode *Backward-Forward Sweep* (BFS) sangatlah cocok untuk menganalisa perubahan beban yang setiap saat berubah (Adhiyatma et al., 2014).

Untuk menganalisa aliran daya dengan menggunakan metode *Backward-Forward Sweep* 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 *Backward-Forward Sweep* analisa aliran daya untuk sistem distribusi terselesaikan tanpa banyak perhitungan dan efisien pada setiap iterasi.

Metode *Backward-Forward Sweep* ini menggunakan prinsip hukum Kirchoff untuk perhitungan arus. Langkah kerja metode *Backward-Forward Sweep* yang pertama adalah *backward sweep* dengan menghitung besar arus yang mengalir pada saluran dari bus paling awal hingga akhir. Yang kedua adalah *forward sweep* untuk menghitung nilai jatuh tegangan (*voltage drop*) pada setiap saluran dengan mengalikan nilai arus yang telah dihitung sebelumnya dengan nilai impedansi salurannya (Novialifiah et al., 2014).

2.3. Fungsi Objektif

Fungsi objektif adalah fungsi tujuan untuk meminimalisasi rugi-rugi daya aktif pada saluran dengan persamaan utama sebagai berikut (Santoso, 2020):

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

dengan N adalah jumlah saluran (9 saluran) dan i adalah saluran.

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

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

$$P_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [\alpha_{ij}(P_i P_j + Q_i Q_j) + \beta_{ij}(Q_i P_j - P_i Q_j)] \quad (2)$$

$$\alpha_{ij} = \frac{r_{ij}}{v_i v_j} \cos(\delta_i - \delta_j) \quad (3)$$

$$\beta_{ij} = \frac{r_{ij}}{v_i v_j} \sin(\delta_i - \delta_j) \quad (4)$$

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

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

$$Q_{DGi} = \alpha P_{DGi} \quad (5)$$

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

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

$$P_i = P_{DGi} - P_{Di} \quad (6)$$

$$Q_i = Q_{DGi} - Q_{Di} = \alpha P_{DGi} - Q_{Di} \quad (7)$$

Dari Persamaan (2), (6), dan (7), rugi daya aktif dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \{ \alpha_{ij} [(P_{DGi} - P_{Di})P_j + (\alpha P_{DGi} - Q_{Di})Q_j] + \beta_{ij} [(\alpha P_{DGi} - Q_{Di})P_j - (P_{DGi} - P_{Di})Q_j] \} \quad (8)$$

Total rugi-rugi daya aktif pada sistem akan minimum jika turunan parsial dari Persamaan (8) terhadap injeksi daya aktif dari DG ke bus i menjadi 0. Setelah disederhanakan dan penyusunan ulang, Persamaan (8) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial P_L}{\partial P_{DGi}} = 2 \sum_{j=1}^N [\alpha_{ij}(P_j + aQ_j) + \beta_{ij}(aP_j - Q_j)] = 0 \quad (9)$$

Persamaan (7) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\alpha_{ii}(P_j + aQ_j) + \beta_{ii}(aP_j - Q_j) + \sum_{j=1, j \neq i}^N (\alpha_{ij}P_j - \beta_{ij}Q_j) + a \sum_{j=1, j \neq i}^N (\alpha_{ij}Q_j - \beta_{ij}P_j) = 0 \quad (10)$$

$$\text{set} \begin{cases} X_i = \sum_{j=1, j \neq i}^N (\alpha_{ij}P_j - \beta_{ij}Q_j) \\ Y_i = \sum_{j=1, j \neq i}^N (\alpha_{ij}Q_j - \beta_{ij}P_j) \end{cases} \quad (11)$$

Dari Persamaan (6), (7), (10), dan (11), dapat dikembangkan Persamaan (12),

$$\alpha_{ii}(P_{DGi} - P_{Di} + a^2P_{DGi} - aQ_{Di}) + \beta_{ij}(Q_{Di} - aP_{Di}) + X_i + aY_i = 0 \quad (12)$$

Dari Persamaan (12), nilai kapasitas DG optimal di setiap bus i untuk meminimalkan rugi daya aktif dapat ditulis sebagai berikut (Santoso, 2020):

$$P_{DGi} = \frac{\alpha_{ii}(P_{Di} + aQ_{Di}) + \beta_{ij}(aP_{Di} - Q_{Di}) - X_i - aY_i}{a^2\alpha_{ii} + \alpha_{ii}} \quad (13)$$

2.4. Flower Pollination Algorithm (FPA)

Metode optimasi FPA merupakan metode dengan konsep penyerbukan (polinasi) pada bunga. Inti dari proses penyerbukan bunga adalah bagaimana serbuk sari jatuh ke kepala putik. Jatuhnya serbuk sari ke kepala putik tentu dengan berbagai alasan seperti tertiuip angin, terbawa oleh serangga bahkan burung. Subjek yang membantu proses penyerbukan, disebut polinator. Pada metode ini tentu bunga yang terpilih untuk dihinggapi polinator merupakan bunga dengan penampilan terbaik, atas dasar tersebut metode FPA dijalankan (Augusta, 2018).

Pada metode FPA terdapat dua langkah kunci yaitu polinasi lokal dan global. Polinasi lokal adalah saat serbuk sari suatu bunga jatuh pada putik bunga itu sendiri yang disebabkan oleh komponen abiotik (angin dan hujan). Polinasi global adalah polinasi yang dilakukan oleh polinator biotik seperti serangga yang melakukan gerakan unik serangga (*Levy Flights*) dimana serbuk sari dapat jatuh pada putik di bunga lain. Pada polinasi global serbuk sari dapat dengan jauh dibawa oleh

polinator, hal tersebut untuk memastikan suatu solusi dengan hasil terbaik, solusi terbaik (*fitness*) direpresentasikan dengan g_* . Hubungan tersebut dapat dinyatakan dengan Persamaan (14)

$$x_i^{t+1} = x_i^t + L (g_* - x_i^t) \quad (14)$$

Dimana:

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

L = persamaan jarak terbang serangga (polinator)

L pada Persamaan (14) biasa disebut dengan fungsi *Levy*. Parameter L merupakan kekuatan dari penyerbukan. Fungsi *Levy* dapat dinyatakan dengan Persamaan (15).

$$L \sim \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin(\frac{\pi\lambda}{2})}{\pi} \cdot \frac{1}{\delta^{1+\lambda}}, (\delta \gg \delta_0 > 0) \quad (15)$$

$\Gamma(\lambda)$ merupakan fungsi gamma, dan pada Persamaan (15) bernilai valid saat $\delta > 0$, pada teorinya nilai $\delta_0 = 0,1$.

Untuk penyederhanaan, diasumsikan setiap tumbuhan hanya memiliki satu bunga yang hanya memproduksi satu serbuk sari, dapat disimpulkan sebuah solusi x_i sebanding dengan jumlah bunga. Pada Tabel 1 terlampir istilah dalam metode optimasi FPA.

Tabel 1 Istilah dalam metode FPA

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

Sumber: (Augusta, 2018)

Adapun penjelasan dari variabel diatas adalah sebagai berikut:

1. Fenomena penyerbukan bunga didefinisi sebagai permasalahan optimasi, dimana pada penelitian ini merupakan permasalahan optimasi penempatan lokasi bus dan kapasitas DG.
2. Populasi bunga didefinisikan sebagai data beban pada setiap bus dan juga impedansi saluran antar bus.
3. Tingkat kecocokan bunga didefinisi sebagai fungsi objektif DG, fungsi objektif DG yang digunakan pada penelitian ini adalah fungsi aliran daya BFS yang ditambahkan variabel untuk memasukkan lokasi bus dan nilai kapasitas injeksi daya aktif sebagai variabel untuk mengurangi rugi-rugi daya pada sistem distribusi radial.
4. Usaha penyerbukan didefinisi sebagai iterasi program optimasi, pada percobaan ini iterasi yang ditentukan sebanyak 5000 kali untuk mendapatkan nilai yang konvergen.
5. Polinator atau variabel yang melakukan penyerbukan didefinisi sebagai solusi yang diusahakan program untuk mendapatkan nilai fungsi objektif yang sesuai dengan batasan yang diberikan.
6. *Probability switch* disini adalah kemungkinan terjadinya polinasi lokal atau global. Polinasi global adalah proses dimana variabel yang akan diuji pada fungsi objektif akan ditambahkan variabel fungsi *Levy* untuk mendapatkan solusi yang lebih baik.
7. Banyaknya solusi yang ingin didapatkan didefinisi sebagai dimensi. Pada percobaan ini dimensi yang ingin didapatkan sebanyak 6 buah, yaitu 3 posisi bus optimal pemasangan DG dan 3 kapasitas optimal masing-masing DG.

Untuk mencari profil tegangan pada sistem distribusi, diberikan batasan (*constraints*) pada Persamaan (16) agar solusi x_{bus} dan $x_{kapasitas}$ memenuhi tujuan optimasi yaitu mengurangi losses dan meningkatkan profil tegangan pada sistem.

$$V_{min} \leq V_{bus} \leq V_{maks} \quad (16)$$

Dimana:

$$V_{min} = 0.95 \text{ pu}$$

$$V_{maks} = 1.05 \text{ pu}$$

Aliran daya setelah optimasi haruslah memenuhi beberapa batasan (*constraints*) diatas untuk mendapatkan solusi x_{bus} dan $x_{kapasitas}$ pada metode optimasi FPA (Augusta, 2018).

2.5. *Distributed Generation (DG)*

Distributed Generation seringkali 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. CIGRE telah mendefinisikan *Distributed Generation* sebagai semua unit pembangkit dengan kapasitas maksimal berkisar sampai 50 MW dan dipasangkan ke jaringan distribusi. IEEE mendefinisikan *Distributed Generation* sebagai pembangkitan yang menghasilkan energi dalam kapasitas yang lebih kecil dibandingkan pusat- pusat pembangkit konvensional dan dapat dipasangkan hampir pada setiap titik sistem tenaga listrik. IEA (2002) mendefinisikan *Distributed Generation* sebagai unit-unit yang menghasilkan energi pada sisi konsumen atau dalam jaringan distribusi lokal.

Semua definisi di atas menunjukkan bahwa pembangkitan dengan skala kecil yang dihubungkan ke jaringan distribusi dapat dianggap sebagai bagian dari DG. Selain itu, pembangkitan yang dipasangkan dekat dengan sisi beban atau konsumen juga dapat dikatakan sebagai *Distributed Generation* (Yuniarti & Prianto, n.d.).

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

1. Tipe 1: DG yang mampu menginjeksi hanya daya aktif saja. Contohnya: sel surya, mikroturbin dan sel bahan bakar.
2. Tipe 2: DG yang mampu menginjeksi hanya daya reaktif saja. Contohnya: kompensator sinkron gas turbin.

3. Tipe 3: DG yang mampu menginjeksikan baik daya aktif maupun daya reaktif. Contohnya, generator sinkron untuk *cooperation*.
4. Tipe 4: DG yang mampu menginjeksikan daya aktif tetapi membutuhkan daya reaktif. Contohnya: generator induksi.

Beberapa penelitian tentang dampak pemasangan DG pada sistem pelayanan listrik menunjukkan bahwa DG memberikan dampak positif pada sistem antara lain meningkatkan keandalan suplai sistem, mengurangi rugi-rugi daya, meningkatkan kualitas daya dan sebagainya. Perencanaan sistem tenaga listrik dengan hadirnya *distributed generation* membutuhkan sejumlah faktor yang penting seperti pemilihan teknologi yang tepat, jumlah unit dan kapasitas yang digunakan, lokasi yang terbaik dan cara penyambungan yang benar (Bawan, 2012).

2.6. Generator Sinkron

Generator sinkron (sering disebut alternator) adalah mesin listrik arus bolak balik yang menghasilkan tegangan dan arus bolak balik (*alternating current, AC*) yang bekerja dengan cara merubah energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik dengan adanya induksi medan magnet. Perubahan energi ini terjadi karena adanya pergerakan relatif antara medan magnet dengan kumparan generator.

Pada generator sinkron yang berkapasitas besar, arus DC diberikan pada lilitan rotor untuk menghasilkan medan magnet rotor, sedangkan kumparan jangkar tempat terbangkitnya tegangan terletak di stator. Rotor ini diputar oleh *prime mover* (penggerak mula) agar terjadi perpotongan medan magnet yang berubah ubah pada kumparan jangkar di stator. Dengan adanya perpotongan medan magnet yang berubah-ubah ini, maka timbul tegangan induksi pada kumparan jangkar generator. Sedangkan, untuk generator berkapasitas kecil, medan magnet dapat diletakkan pada stator (disebut generator kutub eksternal / *external pole generator*) yang mana energi listrik dibangkitkan pada kumparan rotor.

Generator sinkron banyak digunakan sebagai pembangkit energi listrik berkapasitas besar, seperti yang diterapkan pada PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga

Air), PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas), PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir), dan pembangkit listrik lainnya. Selain itu, generator sinkron juga biasa digunakan untuk pembangkit listrik dengan kapasitas kecil, misalnya PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) (Anthony, 2018).