



TESIS - EE185401

**PENEMPATAN DAN PENENTUAN KAPASITAS
DISTRIBUTED GENERATION MENGGUNAKAN
NOVEL SENSITIVITY FACTOR - ALGORITMA
SYMBIOTIC ORGANISM SEARCH**

GEMA SETYAWAN
07111750010004

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019



TESIS - EE185401

**PENEMPATAN DAN PENENTUAN KAPASITAS
DISTRIBUTED GENERATION MENGGUNAKAN NOVEL
SENSITIVITY FACTOR - ALGORITMA SYMBIOTIC
ORGANISM SEARCH**

GEMA SETYAWAN
0711175001004

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)

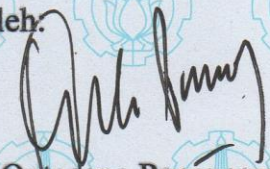
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

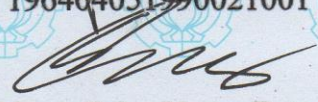
Gema Setyawan
NRP. 07111750010004


Tanggal Ujian : 17 Desember 2018
Periode Wisuda : Maret 2019


Disetujui oleh:



1. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing I)
NIP: 194907151974121001


2. Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T. (Pembimbing II)
NIP: 196404051990021001


3. Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T., M.T. (Penguji)
NIP: 198811082012121001


4. Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T. (Penguji)
NIP: 197411292000121001


5. Dr. Ir. Soedibyö, MMT. (Penguji)
NIP: 195512071980031004


Dekan Fakultas Teknologi Elektro


Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.
NIP: 197002121995121001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“PENEMPATAN DAN PENENTUAN KAPASITAS DISTRIBUTED GENERATION MENGGUNAKAN NOVEL SENSITIVITY FACTOR – ALGORITMA SYMBIOTIC ORGANISM SEARCH”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Desember 2018

Gema Setyawan

NRP. 07111750010004

Halaman ini sengaja dikosongkan

PENEMPATAN DAN PENENTUAN KAPASITAS DISTRIBUTED GENERATION MENGGUNAKAN NOVEL SENSITIVITY FACTOR - ALGORTIMA SYMBIOTIC ORGANISM SEARCH

Nama mahasiswa : Gema Setyawan
NRP : 07111750010004
Pembimbing : 1. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
2. Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.

ABSTRAK

Sistem tenaga listrik terdiri dari banyak bus yang saling terhubung. Topologi jaringan yang paling banyak digunakan adalah *Radial Distribution Network* (RDN), bus yang terletak paling jauh dari pembangkitan memiliki penurunan tegangan yang signifikan serta jumlah bus tanpa dukungan dari *Distributed Generation* (DG) akan mengakibatkan kenaikan rugi daya dan penurunan tegangan. DG bermanfaat untuk mengurangi kerugian daya dan meningkatkan tegangan, tetapi lokasi dan ukuran DG dalam jaringan distribusi membutuhkan pertimbangan besar ditinjau dari penempatan dan kapasitas.

Dalam penelitian ini metode yang digunakan untuk menentukan lokasi DG adalah *Novel Sensitivity Factor* yang terdiri dari *Loss Reduction Sensitivity Factor* (LRSF) dikombinasikan dengan *Voltage Improvement Performance Index* (VIPI), dan untuk kapasitas DG menggunakan metaheuristik *Symbiotic Organism Search* (SOS) dan *Firefly* (FA). Masalah penentuan lokasi dan ukuran DG ini terkait dengan minimisasi kerugian daya nyata dan deviasi tegangan.

Berdasarkan permasalahan, solusi dan penelitian yang telah dilakukan, untuk mendapatkan hasil yang maksimal maka *Novel Sensitivity Factor* harus di kombinasikan dengan metaheuristik, serta hasil yang didapat *Novel Sensitivity Factor* efektif untuk penempatan DG untuk mengurangi *Power Losses* dan meningkatkan *Voltage Profile*. Dilihat berdasarkan perbedaan metaheuristik, metaheuristik *Symbiotic Organism Search* (SOS) memiliki nilai fitness yang lebih baik dari pada *Firefly* (FA).

Kata kunci: Novel Sensitivity Factor, Symbiotic Organism Search, Firefly

Halaman ini sengaja dikosongkan

PLACEMENT AND DETERMINATION OF DISTRIBUTED GENERATION CAPACITY USING NOVEL SENSITIVITY FACTOR – ALGORITMA SYMBIOTIC ORGANISM SEARCH

By : Gema Setyawan
Student Identity Number : 07111750010004
Supervisor(s) : 1. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc.. Ph.D
2. Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijianto, M.T

ABSTRACT

Electric power systems consist of many interconnected buses. The most widely used network topology is Radial Distribusi Network (RDN), the bus located furthest from generation has a significant voltage drop and the number of buses without any support from Distributed Generatio (DG) inflicting in increased power losses. Dg is advantageous to reduce power losses and increasing voltage in the power system, but the location and sizing of DG in the distribution network requires great consideration.

In this research the method used to determine the location is Novel Sensitivity Factor to be censored using the Loss Reduction Sensitivity Factor (LRSF) and combined with Voltage Improvement Performance Index (VIPI), and DG capacity will be optimized using metaheuristic Symbiotic Organism Search (SOS) and Firefly (FA). This DG locating and sizing problem is associated with real power loss minimization and voltage deviation.

Based on the problems, solutions and research that has been done, the result are obtained, to get maximal result, Novel Sensitivity Factor must be combined with metaheuristic, and the results obtained by Novel Sensitivity Factor are effective for DG placement to reduce power losses and improve voltage profile. Based on different metaheuristic, metaheuristic Symbiotic Organism Search (SOS) has a better fitness value than Firefly (FA).

Key words: Novel Sensitivity Factor, Symbiotic Organism Search, Firefly

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis ucapkan kepada Allah yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini dengan judul “**Penempatan dan Penentuan Kapasitas Distributed Generation Menggunakan Novel Sensitivity Factor – Algoritma Symbiotic Organism Search**”. Tesis ini disusun untuk memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T) di Pascasarjana Teknik Elektro ITS.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Prof. Ir Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D. selaku pembimbing I, Bapak Prof. Dr. Ir Adi Soeprijanto, M.T selaku pembimbing II, dan Bapak Umar, S.T, M.T yang telah memberikan bimbingan dan bantuan kepada penulis sampai Tesis ini selesai. Penyelesaian Tesis ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak/Ibu Dosen pengajar Jurusan Teknik Elektro ITS.
2. Kedua orang tua yang telah memberikan semangat dan doa serta kasih sayangnya kepada penulis, Ibunda Rabiati, Ayahanda Taufik Mutiara, dan Paman Ari Sidharta Akmam yang selalu memberi motivasi dan saran, serta Ivon Yohana yang telah memberi dukungan dan mendoakan.
3. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro ITS, khususnya Bidang Keahlian Teknik Sistem Tenaga (S2) angkatan 2017.

Penulis menyadari bahwa di dalam penyusunan Tesis ini masih banyak terdapat kelemahan dan kekurangan. Penulis mengharapkan saran demi kesempurnaan penulisan Tesis ini. Semoga Tesis ini bermanfaat bagi kita semua. Amiin

Surabaya, Desember 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Kontribusi Penelitian	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	5
2.1 Distributed Generation.....	5
2.2 Konsep Sistem Distribusi Radial	8
2.1 Novel Sensitivity Factor	10
2.2 Symbiotic Organism Search	11
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	15
3.1 Studi Literature	15
3.2 Pengumpulan Data	15
3.3 Studi Aliran Daya	15
3.4 Pembentukan Novel Sensitivity Factor.....	16
3.5 Pembentukan Symbiotic Organism Search.....	18
3.6 Fungsi Tujuan dan Batasan.....	21
3.7 Flow Chart Penelitian	22

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 SLD IEEE 33 Bus.....	23
4.2 Menentukan Lokasi Menggunakan Novel Sensitivity Factor	24
4.3 Menentukan Kapasitas DG Menggunakan SOS	27
4.4 Analisa Penelitian.....	29
BAB 5 PENUTUP	33
DAFTAR PUSTAKA.....	35
LAMPIRAN	39
BIODATA PENULIS	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Posisi kontribusi penelitian	4
Gambar 2.1 Tipe dari <i>Distributed Energy</i> (DG) [1]	6
Gambar 2.2 <i>Single Line Diagram</i> sistem radial bus [15].....	8
Gambar 3.1 <i>Flow Chart Novel Sensitivity Factor</i> [5].....	17
Gambar 3.2 <i>Flow Chart Symbiotic Organism Search</i> [8].....	20
Gambar 3.3 <i>Flow Chart Penelitian</i>	22
Gambar 4.1 SLD IEEE 33 Bus	23
Gambar 4.2 Identifikasi lokasi berdasarkan NSF	26
Gambar 4.3 Kurva <i>fitness Symbiotic Organism Search</i>	30
Gambar 4.4 Kurva <i>fitness Firefly</i>	30
Gambar 4.5 <i>Ploting power losses</i>	31
Gambar 4.6 <i>Ploting voltage bus</i>	31

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Perkembangan sumber energi beberapa negara [2] [3].....	1
Tabel 2.1 Klasifikasi DG berdasarkan kapasitasnya [1]	5
Tabel 4.1 Identifikasi lokasi DG (LRSF).....	24
Tabel 4.2 Identifikasi lokasi DG LRSF + VIPI (NSF)	25
Tabel 4.3 Identifikasi lokasi dan kapasitas DG.....	29

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut [2] perkembangan kelistrikan saat ini memiliki peningkatan dari beberapa tahun sebelumnya, energi listrik mulai beranjak pada energi terbarukan dibuktikan dengan tabel 1.1.

Tabel 1.1 Perkembangan sumber energi beberapa negara [2] [3]

Negara	Sumber Energy	Persentase Pembangkitan
Spanyol	Wind	39%
	PV	39%
	Gas	15%
	Biomass	4%
	Hydro	3%
Germany	Wind	30%
	Solides	20%
	Gas	20%
	Biomass	17%
	PV	11%
	Hydro	2%
Japan	Hydro	57,10%
	PV	32,60%
	Wind	5,80%
	Biomass	3,80%
	Geothermal	0,70%
Taiwan	Hydro	29%
	Wind	28%
	PV	23%
	Biomass+Waste	16%
	Geothermal	2%
	Ocean	2%

Berdasarkan data statistik ini dapat disimpulkan bahwa demi memenuhi target permintaan kelistrikan, berbagai negara di dunia gencar menginovasikan tenaga yang bersifat energi terbarukan yang bisa berfungsi sebagai *Distribution Generation (DG)*.

Distributed Generation (DG) adalah salah satu teknologi yang digunakan untuk generasi terbaru sistem kelistrikan, sehingga konsumen dapat menghubungkan langsung pada jaringan listrik [4], berdasarkan *statement* ini, individu maupun kelompok masyarakat yang memiliki pembangkitan listrik yang bersifat swasta dapat mengembangkan pembangkit tersendiri dan menjual listrik tersebut kepada perusahaan listrik yang bersifat nasional. Mengidentifikasi konsep DG dapat mencakup definisi DG, teknologi, kapasitas, lokasi dan dampaknya terhadap operasi sistem [1], sebagai tambahan nilai dari *Voltage Profile Improvement* dan *Power Loss Reduction* juga diperhitungkan [5].

Penentuan lokasi dan kapasitas DG tidak bisa menggunakan ide yang bersifat subjektif, karena penempatan DG yang tidak semestinya justru mengakibatkan permasalahan serius, seperti profil tegangan yang rendah, rugi-rugi daya yang tinggi [1]. Di butuhkan suatu metode yang bersifat objektif sehingga bisa mendukung pemilihan keputusan yang tepat. Penempatan DG yang optimal dapat meningkatkan tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya [6].

Metode penentuan lokasi DG sudah dilakukan oleh [5], ada *research gap* dimana injeksi DG yang dilakukan berdasarkan ranking index *Novel Sensitivity Factor* dan pada topology *loop*, berdasarkan *statement* ini penulis menginovasikan dengan membahas injeksi DG pada sistem *radial* tetapi menggunakan index *Novel Sensitivity Factor* dan injeksi DG dicari menggunakan *Artificial Intelligent Symbiotic Organism Search* dan dibandingkan dengan *firefly*,

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan penelitian yang akan dipaparkan dalam perumusan masalah terkait dengan latar belakang penelitian. Permasalahan pada penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Penentuan lokasi untuk injeksi DG menggunakan metode *Novel Sensitivity Factor*
2. Menentukan kapasitas DG dengan algoritma *Symbiotic Organism Search (SOS)* dengan validasi *Firefly (FA)*
3. Pengoptimalan adalah untuk meminimalkan *Power Loss* dan memaksimalkan *Voltage Profile*

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka didapatkan tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan penentuan dan kapasitas DG yang paling optimum dengan identifikasi lokasi menggunakan *Novel Sensitivity Factor* yang dikombinasikan dengan *Symbiotic Organism Search* atau *Firefly*.
2. Membandingkan empat skenario yang terdiri dari NSF (skenario 1), NSF + SOS (skenario 2), NSF + FA (skenario 3).

1.4 Batasan Masalah

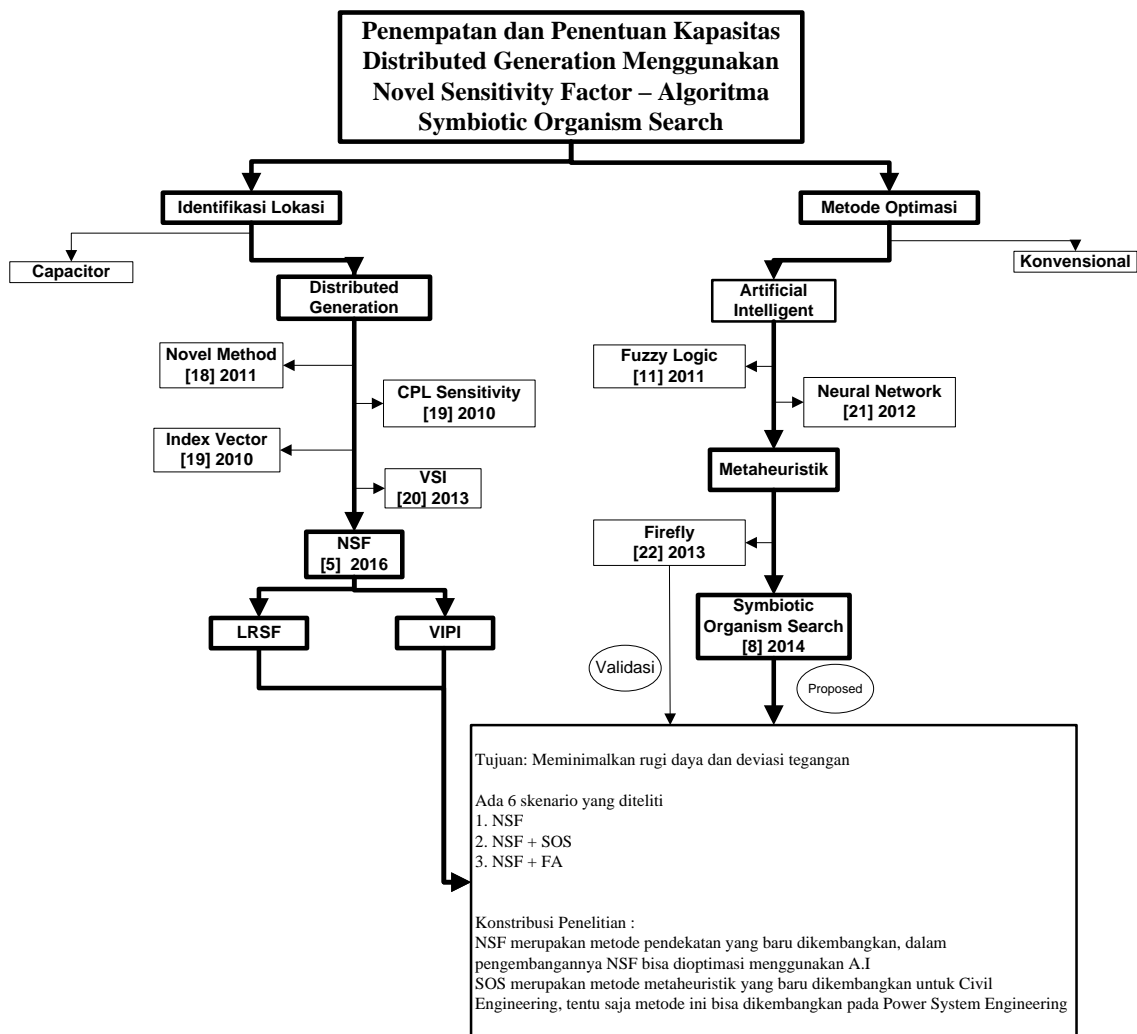
Pada penelitian ini, masalah dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Sistem pembangkit beroperasi normal, tidak dalam gangguan
2. Optimasi yang diinginkan adalah meminimalkan *power loss* dan *voltage deviation*
3. Metode penentuan lokasi menggunakan *Novel Sensitivity Factor*
4. Metode penentuan kapasitas menggunakan *Symbiotic Organism Search* dan *Firefly* sebagai validasi
5. Sistem dalam keadaan seimbang
6. Topologi jaringan yang digunakan adalah sistem radial
7. DG yang digunakan hanya menyuplai daya aktif
8. Penelitian menggunakan sistem distribusi IEEE 33 dengan melakukan beberapa modifikasi, dan disesuaikan dengan persolan yang dibahas

1.5 Kontribusi

Menurut [5], *Novel sensitivity factor* adalah suatu metode pendekatan analitis untuk identifikasi peletakkan DG, Metode ini memiliki dua faktor yang dikombinasikan, dinamakan *Loss Reduction Power Sensitivity Factor (LRSF)* dan *Voltage Improvement Performance Index (VIPI)* untuk mengidentifikasi berdasarkan deviasi tegangan.

Cheng dan Prayogo [7], mengembangkan metode metaheuristik untuk aplikasi teknik sipil yang disebut *Symbiotic Organism Search (SOS)*. Algoritma ini dibangun menyerupai hubungan symbiosis organisme dalam suatu ekosistem. SOS memiliki parameter yang lebih sedikit (*Benefit Factor (BF)* dan *Mutual Vector (MV)*). Dalam penelitian ini menggunakan *Firefly* sebagai validasi A.I. SOS dan FA digunakan sebagai metode perhitungan kapasitas DG.



Gambar 1.1 Posisi kontribusi penelitian

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

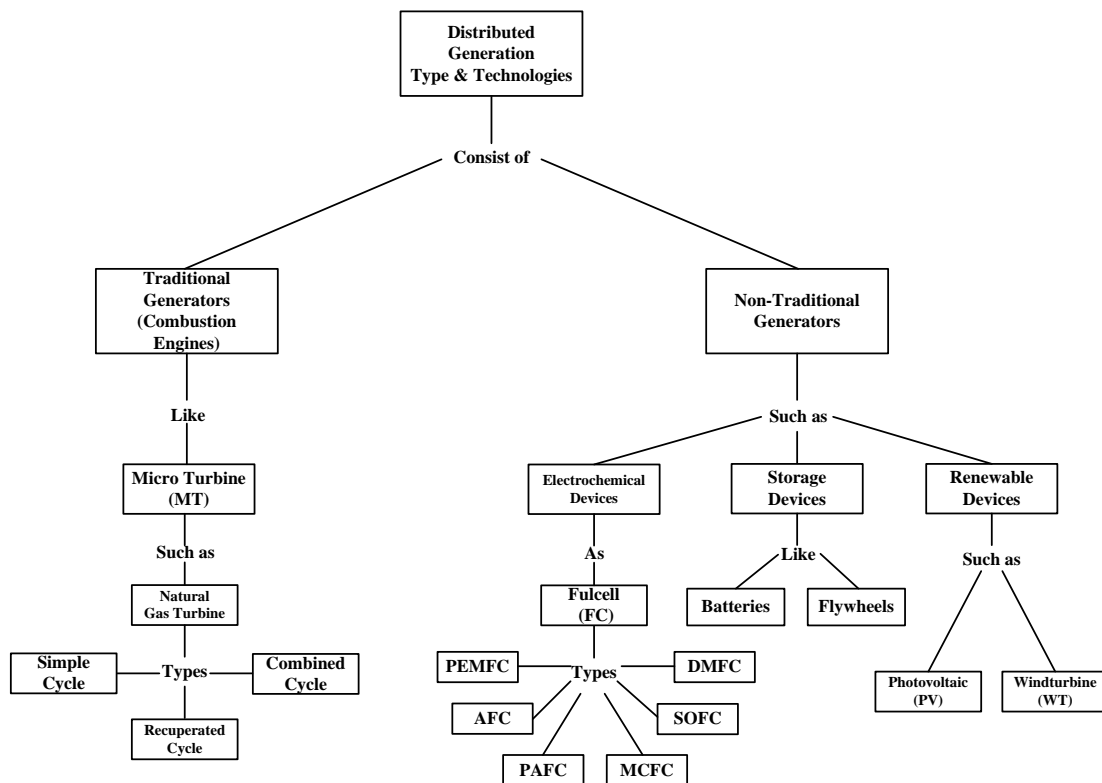
2.1 Distributed Generation

Distributed Generation (DG) menurut [2] [8], disebut juga dengan *distributed energy, on-site generation* (OSG), *decentralized energy* adalah pembangkit dan penyimpanan listrik dalam skala kecil yang terhubung pada jaringan listrik dan sebagai sumber daya energi terdistribusi. Pengklasifikasikan DG berdasarkan kapasitasnya seperti yang dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi DG berdasarkan kapasitasnya [1]

No	Ukuran Pembangkit Terdistribusi	Klasifikasi
1	$DG < 5 \text{ kW}$	Pembangkit terdistribusi mikro
2	$5 \text{ kW} \leq DG < 5 \text{ MW}$	Pembangkit terdistribusi kecil
3	$5 \text{ MW} \leq DG < 50 \text{ MW}$	Pembangkit terdistribusi sedang
4	$50 \text{ MW} \leq DG < 300 \text{ MW}$	Pembangkit terdistribusi besar

Berdasarkan tabel 2.1, DG diklasifikasikan berdasarkan kapasitas, sedangkan untuk gambar 2.1 DG diklasifikasikan berdasarkan jenisnya yang terdiri dari (1) traditional generator seperti *Micro Turbine* (MT) dan (2) Non traditional generator meliputi elektrokimia, baterai sistem dan energi terbarukan.



Gambar 2.1 Tipe dari *Distributed Generation* (DG) [1]

1. *Micro Turbine* (MT)

Menurut [1], MT merupakan turbin pembakaran dengan kapasitas kecil, yang dapat beroperasi menggunakan gas alam, propane, dan bahan bakar minyak. Terdiri dari kompresor, ruang pembakaran, turbin kecil dan generator. Poros generator berukuran sekitar $0,4 - 1 m^3$ dan dengan kapasitas 20-500kW. Tidak seperti turbin pembakaran traditional (*combustine engine*), MT bekerja pada suhu dan tekanan yang lebih rendah dan kecepatan lebih cepat (100.000 rpm), dan ada yang tidak memiliki *gearbox* [9], contoh komersial yang ada memiliki biaya rendah, keandalan yang baik, kecepatan cepat dengan kapasitas 30 – 75 kW di pasang di Timur Laut AS [10].

2. *Fuel Cell* (FC)

Sel bahan bakar (*Fuel Cell*) adalah alat yang digunakan untuk menghasilkan tenaga listrik dan menyediakan energi panas dari energi kimia

melalui proses elektrokimia dapat dianggap seperti baterai yang memasok energi listrik selama bahan bakarnya tersedia. Menurut [11], tidak seperti baterai, FC tidak perlu diisi untuk bahan yang dikonsumsi selama proses elektrokimia karena bahan-bahan ini terus dipasok. [12] FC adalah teknologi terkenal dari awal 1960 ketika digunakan di perusahaan industri otomatis. Kemudian pada tahun 1997, Departemen Energi AS menguji bahan bakar bensin untuk FC mempelajari ketersediannya untuk menghasilkan tenaga listrik. [11] kapasitas FC bervariasi dari kW ke MW untuk unit *portable* dan *stationer*, menggunakan bahan bakar gas dan cair. Menurut [13], FC dapat menggunakan bahan bakar seperti hydrogen, oksigen biogas atau propane.

3. *Storage Device*

Menurut [12], terdiri dari baterai dan *flywheel*, yang digunakan selama beban rendah, dan biasanya dikombinasikan dengan DG tipe lainnya untuk mensupply kurva beban dalam keadaan *peak load*. Baterai memiliki pengendalian pengisian daya untuk perlindungan *overcharge* dan *overdischarge*. Dan untuk *flywheel* memiliki *startup* yang cepat sekitar 700 kW dalam 5 detik.

4. *Renewable Devices*

Menurut [1], merupakan energi terbarukan dengan sumber seperti matahari dan angin. Harga listriknya masih lebih tinggi dari pada listrik yang dihasilkan pembangkit konvensional, beberapa contoh untuk energi terbarukan adalah (1) *Solar Cell*, cell menyerap energi matahari dari sinar matahari, dimana elektron foton memaksa electron-elektron mengalir dan mengubahnya menjadi listrik DC. Setiap cell menyediakan 2-4 A dengan tegangan 0,5 V. Biasanya untuk membentuk array, solar module dihubungkan secara seri, menyediakan 12 Volt untuk mengisi daya baterai. (2) *Wind Turbine*, terdiri dari rotor, *blade*, generator, *gearbox* dan drive generator. *Blade* turbin biasanya terdiri dari dua atau tiga bilah yang masing-masing panjangnya 10-30 m. Dengan prinsip kerjanya, angin mengalir dan

dapat memutarakan *blade* dan poros seperti memutar kincir angin, poros ini mengoperasikan generator dan menghasilkan listrik.

2.2 Konsep Sistem Distribusi Radial

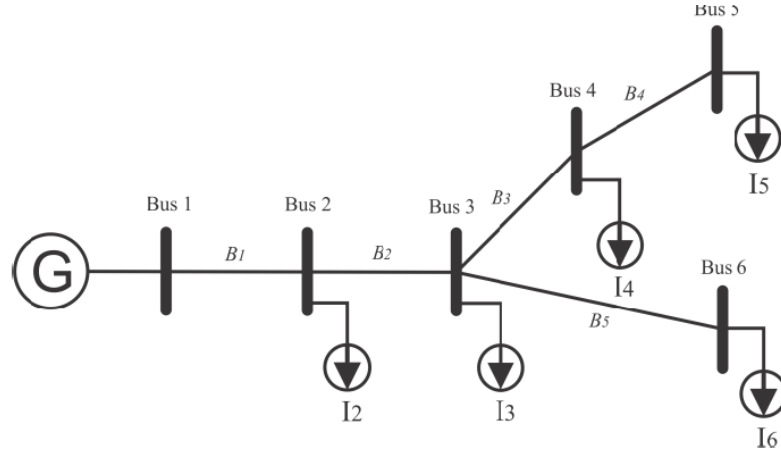
Dasar teori merupakan semua teori yang dipilih berdasarkan kajian pustaka yang melatarbelakangi permasalahan penelitian tesis yang dilakukan. Dasar teori Berdasarkan [14], Persamaan untuk menghitung daya kompleks pada bus - i dan load S_i dapat di ekspresikan:

$$S_i = (P_i + jQ_i) \quad i = 1 \dots N \quad (2.1)$$

Dan arus pada saat iterasi yang - k :

$$I_i^k = I_i^r(V_i^k) + jI_i^i(V_i^k) = \left(\frac{P_i + jQ_i}{V_i^k} \right)^* \quad (2.2)$$

V_i^k dan I_i^k adalah tegangan bus dan arus injeksi pada - k iterasi, masing-masing untuk I_i^r dan I_i^i adalah arus real dan arus imajiner pada bus i saat iterasi ke - k . Untuk sistem sederhana untuk radial bus akan diperlihatkan pada gambar 2.2:



Gambar 2.2 *Single Line Diagram* sistem radial bus [14]

Dari single line diagram diatas maka didapatkan persamaan untuk membentuk matriks *Bus Injection to Branch Current* (BIBC) dengan menggunakan hukum *Kirchoff* untuk arus (*Kirchoff Current Law*), maka didapatkan persamaan:

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Persamaan 2.3 dapat diekspresikan dalam bentuk umum:

$$[B] = [BIBC][I] \quad (2.4)$$

Kemudian didapatkan persamaan untuk drop tegangan pada setiap bus adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_2 &= V_1 - B_1 Z_{12} \\ V_3 &= V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} \\ V_4 &= V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} - B_3 Z_{34} \\ V_5 &= V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} - B_3 Z_{34} - B_4 Z_{45} \\ V_6 &= V_1 - B_1 Z_{12} - B_5 Z_{36} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Berdasarkan persamaan 2.5 didapatkan matriks *Branch Current to Bus Voltage* (BCBV) yang menyatakan bahwa ada hubungan antara tegangan bus dan arus saluran:

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Persamaan 2.6 dapat diekspresikan dalam bentuk umum:

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (2.7)$$

Kemudian didapatkan persamaan untuk matriks ΔV . Persamaan yang didapat adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} [\Delta V] &= [BCBV][BIBC][I] \\ [\Delta V] &= [DLF][I] \end{aligned} \quad (2.8)$$

Solusi *distribution power flow* untuk sistem radial berdasarkan persamaan 2.2 dan persamaan 2.8, maka persamaan selalu di perbarui sesuai dengan iterasi ke- k

$$[\Delta V^{k+1}] = [DLF][I^k] \quad (2.9)$$

$$[V^{k+1}] = [V^0] - [\Delta V^{k+1}] \quad (2.10)$$

2.3 Novel Sensitivity Factor

Novel sensitivity factor digunakan untuk menyeleksi bus yang berpotensi sebagai lokasi penempatan DG. Identifikasi lokasi DG menggunakan *Loss Reduction Sensitivity Factor* (LRSF) dan *Voltage Improvement Performance Index* (VIPI) [5]. Besar LRSF akibat injeksi DG pada bus i dituliskan sebagai:

$$LRSF_i = \frac{\Delta P_{loss}}{\Delta P_i} = \frac{P_{loss}^i - P_{loss}^b}{P_{DG}^{inj}} \quad (2.11)$$

Dengan:

$P^i Loss$ = rugi-rugi sistem akibat injeksi DG pada bus ke-

$P^b Loss$ = rugi-rugi sistem sebelum injeksi DG

P_{DG}^{inj} = daya yang diinjeksi oleh DG pada bus ke

Nilai VIPI akibat injeksi DG pada bus i: dituliskan dengan rumus:

$$VIPI^i = \sum_{j=1}^N \frac{w_j}{2n} \left(\frac{\Delta V_j^i}{\Delta V_j^{lim}} \right)^{2n} \quad (2.12)$$

$$\Delta V_j^i = V_j^i - V_j^{lim} \quad (2.13)$$

$$V_j^{lim} = \begin{cases} V_j^{maks}, & \text{jika } V_j^i \geq 1.0 \\ V_j^{min}, & \text{jika } V_j^i \leq 1.0 \end{cases} \quad (2.14)$$

$$V_j^i = \begin{cases} V_j^{maks}, & \text{jika } V_j^i \geq V_{max} \\ V_j^{min}, & \text{jika } V_j^i \leq V_{min} \end{cases} \quad (2.15)$$

$$\Delta V_j^{lim} = \frac{V_j^{maks} - V_j^{min}}{2} \quad (2.16)$$

Dengan:

W_j = *weight*

N= jumlah bus

V_j^i = tegangan pada bus j dengan injeksi DG pada bus i

2.4 Symbiotic Organism Search

Symbiotic organisms search (SOS) adalah algoritma yang meniru hubungan simbiosis makhluk hidup dalam suatu ekosistem [7]. Simbiosis digunakan untuk menggambarkan hubungan dua individu berbeda yang berinteraksi dan saling tergantung satu sama lain untuk bertahan hidup. Hubungan simbiosis yang paling umum adalah mutualisme, komensalisme dan parasitisme. Hubungan tersebut bisa menguntungkan kedua belah pihak (mutualisme); salah satu pihak untung, tetapi tidak merugikan pihak lain (komensalisme); dan salah satu pihak untung dan pihak lain menderita kerugian (parasitisme). Interaksi acak makhluk hidup atau makhluk hidup dengan lingkungannya adalah merupakan strategi makhluk hidup untuk beradaptasi dan bertahan hidup

Fase mutualisme menggambarkan hubungan dua organisme yang dipilih secara acak dalam ekosistem, dimana keduanya mendapat manfaat dari hubungan tersebut. Hubungan antara bunga dan lebah adalah merupakan contoh dari fase ini. Lebah terbang dari bunga ke bunga untuk mengumpulkan serbuk sari yang nantinya dikumpulkan menjadi madu. Pada saat yang bersamaan, proses ini juga merupakan jalan bagi bunga untuk melakukan penyerbukan melalui serbuk sari yang disebarkan oleh lebah ke bunga yang lainnya. Jadi hubungan ini memberikan manfaat bagi keduanya.

Anggap bahwa X_i adalah organisme anggota sebuah ekosistem. X_j adalah organisme yang dipilih secara acak dari ekosistem untuk berinteraksi dengan X_i ($X_j \neq X_i$). Kedua organisme tersebut berinteraksi untuk memperoleh manfaat demi kelangsungan hidup mereka dalam ekosistem. Organisme baru yang dihasilkan pada fase mutualisme dapat dirumuskan sebagai berikut [7]:

$$X_i^{new} = x_i + rand(0,1) \times (X_{best} - MV \times BF_1) \quad (2.17)$$

$$X_j^{new} = x_j + rand(0,1) \times (X_{best} - MV \times BF_2) \quad (2.18)$$

i dan j adalah bilangan bulat 1,2, 3... ukuran ekosistem, dimana $i \neq j$. X_{best} adalah organisme dengan *fitness* terbaik dalam ekosistem. MV adalah *mutual vector*, yang mewakili hubungan antara kedua organisme, yang didefinisikan sebagai:

$$MV = (X_i + X_j)/2 \quad (2.19)$$

Benefit Factor (BF₁ dan BF₂) adalah faktor yang menggambarkan manfaat yang dapat diambil oleh setiap organisme sebagai hasil interaksi. Nilai BF₁ dan BF₂ adalah merupakan bilangan bulat acak (1,2). Nilai 1 dan 2 menggambarkan bahwa organisme tersebut mendapatkan sebagian atau seluruh manfaat dari hasil interaksi yang dilakukan. Nilai BF₁ dan BF₂ dapat dihitung menggunakan persamaan [7]:

$$BF_1 = \text{random} (1 \text{ or } 2) \quad (2.20)$$

$$BF_2 = \text{random} (1 \text{ or } 2) \quad (2.21)$$

Jika organisme baru (X_{ibaru} dan X_{jbaru}) memiliki *fitness* yang lebih tinggi dari *fitness* organisme lama (X_i dan X_j), maka pada fase ini organisme baru akan menggantikan organisme lama. Sebaliknya jika X_i dan X_j memiliki *fitness* yang lebih tinggi, maka X_i dan X_j akan bertahan. Secara matematik hal ini dapat dituliskan

$$X_i \left\{ \begin{array}{l} X_{ibaru} \text{ jika } f(X_i) > f(X_{ibaru}) \\ X_i \text{ jika } f(X_i) \leq f(X_{ibaru}) \end{array} \right\} \quad (2.22)$$

$$X_j \left\{ \begin{array}{l} X_{jbaru} \text{ jika } f(X_j) > f(X_{jbaru}) \\ X_j \text{ jika } f(X_j) \leq f(X_{jbaru}) \end{array} \right\} \quad (2.23)$$

Komensalisme adalah hubungan simbiosis, dimana salah satu dari organisme yang mendapatkan manfaat, sementara organisme lainnya tidak mendapat pengaruh sama sekali. Hubungan antara ikan remora dengan ikan hiu adalah merupakan contoh dari simbiosis komensalisme. Ikan remora berenang dibawah ikan hiu agar aman dari pemangsa, selain itu ikan remora juga mendapatkan makanan dari sisa-sisa makanan ikan hiu. Sementara disisi lain ikan hiu tidak mendapat manfaat sama sekali dari ikan remora.

Pada algoritma SOS, organisme X_i berinteraksi dengan organisme yang dipilih secara acak X_j. X_i mendapat keuntungan dari hasil interaksi ini sementara X_j tidak mendapat pengaruh sama sekali. Hasil interaksi ini dirumuskan sebagai berikut[7]

$$X_{ibaru} = X_i + \text{rand}(-1,1) \times (X_{best} - X_j) \quad (2.24)$$

X_j adalah organisme yang dipilih secara acak dalam ekosistem. X_{best} adalah organisme yang mempunyai *fitness* terbaik. Nilai X_i di perbaharui menggunakan persamaan (2.32). Jika *fitness* X_{ibaru} lebih baik dari X_i , maka X_i diganti oleh X_{ibaru} , begitu pula sebaliknya.

$$X_i \left\{ \begin{array}{l} X_{ibaru} \text{ jika } f(X_{ibaru}) > f(X_i) \\ X_i \text{ jika } f(X_i) \geq f(X_{ibaru}) \end{array} \right\} \quad (2.25)$$

Hubungan simbiosis antara dua organisme yang berbeda, dimana salah satu organisme mendapat keuntungan, sedangkan organisme yang lain mendapatkan kerugian disebut parasitisme. Hubungan antara plasmodium dengan nyamuk anopheles adalah merupakan salah satu contoh dari simbiosis parasitisme. Nyamuk anopheles menyebarkan plasmodium kedalam darah manusia sebagai inang. Anopheles akan menyebar dan berkembang didalam tubuh manusia. Akibatnya manusia sebagai inang akan menderita sakit. Jika tubuh manusia cukup fit untuk melawan anopheles, maka anopheles tidak akan berkembang dan akhirnya mati, begitu pula sebaliknya.

Anggap X_i adalah organisme yang mempunyai peranan seperti nyamuk anopheles yang membentuk parasit buatan yang disebut vektor parasit (PV). Vektor parasit dibentuk sebagai hasil *cloning* organisme X_i dan diubah dengan menggunakan bilangan acak. X_j adalah organisme yang dipilih secara acak dari ekosistem. Nilai *fitness* dari vektor parasit dibandingkan dengan *fitness* dari X_j . Jika *fitness* vektor parasit lebih tinggi dari X_j , maka X_j akan digantikan oleh vektor parasit, begitu pula sebaliknya. Hubungan ini diperlihatkan pada persamaan dibawah ini [7]:

$$PV = rand(1, pick) * (ub(pick) - lb(pick)) + lb(pick) \quad (2.26)$$

$$X_i \left\{ \begin{array}{l} PV \text{ jika } f(PV) > f(X_j) \\ X_j \text{ jika } f(X_j) \geq f(PV) \end{array} \right\} \quad (2.27)$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi Literatur

Studi literatur diperoleh dari dari jurnal-jurnal international yang mengacu pada jurnal *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* khususnya bidang *Power System* dan jurnal ELSEVIER, serta buku-buku referensi *credible* yang telah di telaah selama perkuliahan dan penelitian. Untuk simulasi menggunakan pembentukan coding menggunakan *Matrix Laboratory (MATLAB)*

3.2 Pengumpulan Data

Data Distributed Generation (DG) diambil dari penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data bus system IEEE 33 Bus

3.3 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya yang digunakan untuk menganalisa aliran daya listrik dari pembangkitan yang disalurkan melalui saluran transmisi sampai ke pusat beban.

Dalam melakukan perhitungan aliran daya maka perlu diperhatikan jenis-jenis bus yang terdapat dalam jaringan, jenis-jenis bus tersebut dibagai dalam tiga klasifikasi yaitu:

1. Load bus (PQ Bus)
 - a. Terhubung dengan beban
 - b. P dan Q diketahui dan nilainya tetap
 - c. $|V|$ dan δ dihitung
2. Generator bus (PV Bus)
 - a. Terhubung dengan generator
 - b. P dan $|V|$ diketahui dan nilainya tetap
 - c. Q dan δ dihitung
3. Swing/Slack bus
 - a. Terhubung dengan generator

- b. $|V|$ dan δ diketahui dan nilainya tetap
- c. P dan Q dihitung

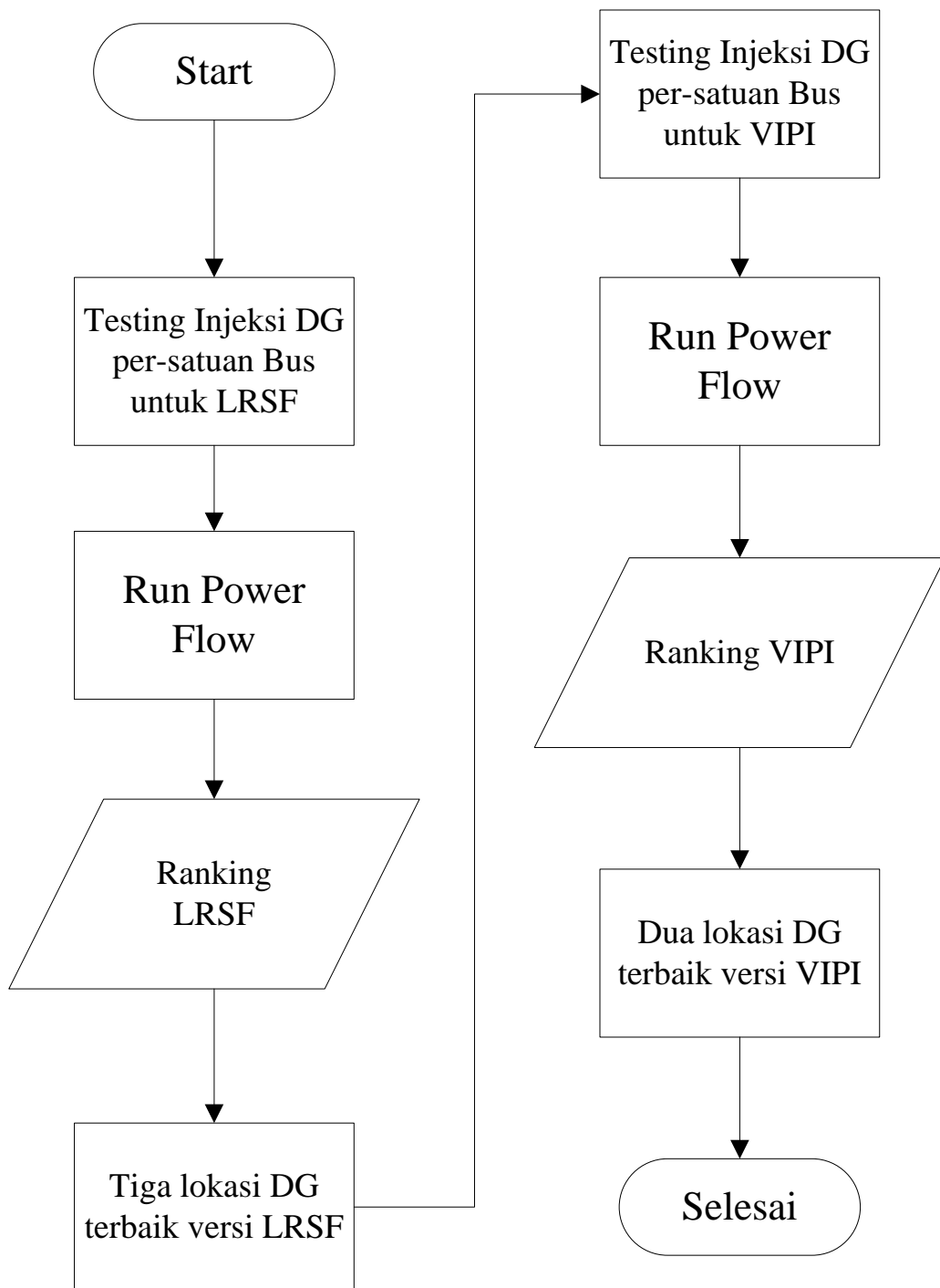
3.4 Pembentukan Novel Sensitivity Factor

Berdasarkan formulasi dari persamaan 2.19 untuk LRSF hasil identifikasi DG bisa dalam bentuk $LRSF > 0$, $LRSF = 0$ atau $LRSF < 0$, Hal ini menunjukkan bahwa tiap-tiap bus memiliki nilai LRSF yang berbeda, uji coba penetrasi DG dilakukan dengan nilai kapasitas DG 1 MW Hasil yang terbaik adalah bus yang memiliki nilai LRSF paling kecil, data yang diambil adalah bus dengan rangking LRSF 3 tertinggi.

Lokasi bus yang sudah diketahui dengan LRSF diinjeksi DG yang sebesar 0,5 MW. Lalu di coba lagi injeksi DG sebesar 0,5 MW di setiap bus kecuali pada bus yang sudah ditempatkan DG. Hal ini dilakukan untuk mengetahui lokasi pemilihan ranking untuk VIPI, berdasarkan formulasi dari persamaan 2.20, berbeda dengan LRSF dibutuhkan nilai w_j sebagai bobot, dimana nilai ini diputuskan oleh operator sistem, tergantung pada kondisi operasi sistem. Nilai $2n$ sebagai nilai unjuk kerja, disini untuk nilai $2n$ adalah 1. Hasil yang terbaik adalah bus yang memiliki nilai VIPI tertinggi, data yang diambil adalah bus dengan rangking VIPI tertinggi.

Algoritma untuk *Novel Sensitivity Factor* akan dijabarkan seperti berikut:

1. Pemilihan untuk rangking LRSF berdasarkan persamaan (2.11), nilai rangking bus akan diurutkan dari nilai terkecil sampai yang terbesar, dan identifikasi lokasi diambil rangking yang tiga tertinggi.
2. Pemilihan untuk rangking VIPI berdasarkan persamaan (2.12-2.16), nilai rangking bus akan diurutkan dari nilai terbesar sampai yang terkecil dan identifikasi lokasi diambil rangking yang dua tertinggi
3. Lanjut ke langkah *Symbiotic Organism Search*



Gambar 3.1 *Flow Chart Novel Sensitivity Factor* [5]

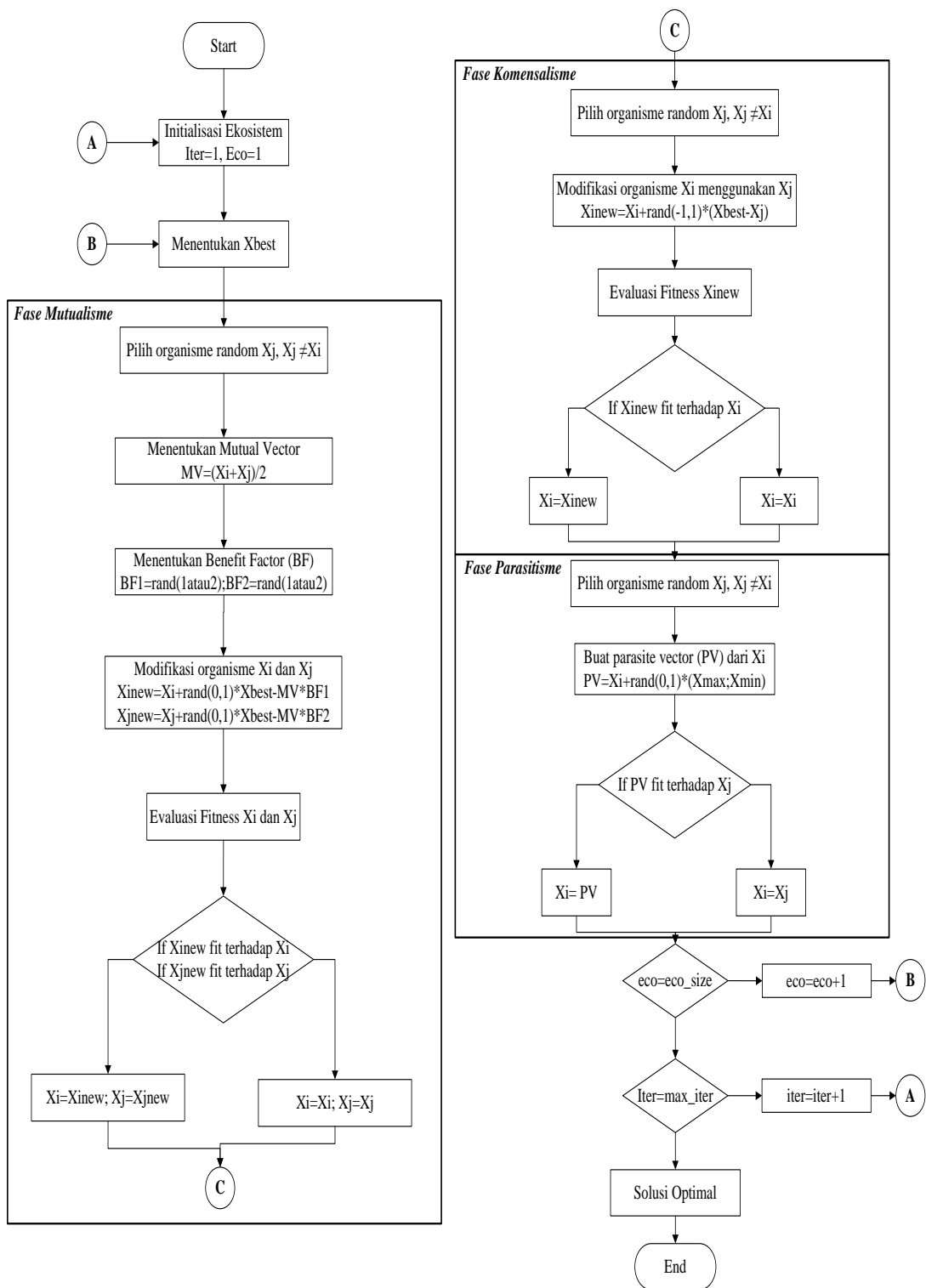
3.5 Pembentukan Symbiotic Organism Search

Mengacu pada *Novel Sensitivity Factor*, Injeksi lokasi DG menggunakan LRSF dan VIPI dengan nilai uji coba kapasitas DG per-satuan. memperbaiki kapasitas yang sudah di cari oleh *Novel Sensitivity Factor*, *Symbiotic Organism Search* berguna sebagai optimasi kapasitas DG, berdasarkan lokasi yang sudah di *sensing* oleh *Novel Sensitivity Factor*.

Algoritma *Symbiotic Organism Search* akan dijabarkan seperti berikut:

1. Inisialisasi data ekosistem (*eco_size*).
2. Memasuki fase mutualisme,
 - a. Dipilih nilai random untuk X_i dan X_j dimana $X_i \neq X_j$
 - b. Menentukan *mutual_vector* berdasarkan persamaan (2.19)
 - c. Menentukan *Benefit Factor* berdasarkan persamaan (2.20-2.21)
 - d. Modifikasi organisme X_i dan X_j menjadi $X_{i_{new}}$ dan $X_{j_{new}}$ dengan persamaan (2.22-2.23)
 - e. Evaluasi fitness X_i dengan $X_{i_{new}}$; X_j dengan $X_{j_{new}}$
 - f. Didapatkan hasil yang terbaik X_i dan X_j pada fase mutualisme
3. Memasuki fase komensalisme,
 - a. Nilai X_i yang digunakan adalah nilai yang telah dicari pada fase mutualisme
 - b. Dipilih nilai random untuk X_j (dipilih random oleh coding) dimana $X_i \neq X_j$
 - c. Modifikasi organisme $X_{i_{new}}$ dengan menggunakan X_i dan X_j berdasarkan persamaan (2.24)
 - d. Evaluasi fitness X_i dengan $X_{i_{new}}$
 - e. Didapatkan hasil terbaik X_i pada fase komensalisme

4. Memasuki fase parasitisme,
 - a. Nilai X_i yang digunakan adalah nilai yang telah dicari pada fase komensalisme
 - f. Dipilih nilai random untuk X_j (dipilih random oleh coding) dimana $X_i \neq X_j$
 - b. Bentuk *Parasite_Vector* (PV) berdasarkan X_i dengan persamaan (2.26)
 - c. Evaluasi fitness PV dan X_j
 - d. Didapatkan hasil terbaik $X_i = X_i^{(1)}$
5. Nilai X_i^1 digunakan sebagai X_{best} dan X_i untuk populasi berikutnya
6. Ulangi Langkah 2-5 sampai nilai (*eco_size*)



Gambar 3.2 Flow Chart Symbiotic Organism Search [7]

3.6 Fungsi Tujuan dan Batasan

Dalam penelitian ini beberapa *Objective Function* yang ingin dicapai dan *Constraint* yang tidak boleh dilanggar yaitu [15][16]:

Fungsi Tujuan:

1. *Power loss minimization*

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=2}^n I_{ij}^2 R_{ij} \quad (3.1)$$

$$OF_1 = \text{Minimise } (P_{loss}) \quad (3.2)$$

Keterangan:

P_{loss} = Rugi-rugi daya sistem

I_{ij} = Arus yang mengalir di bus-i ke bus j

R_{ij} = Tahanan di bus-i ke bus j

2. *Voltage Profile Improvement (Voltage Deviation)*

$$\text{Voltage Profil} = \sum_{i=1}^n (V_i - V_{rated})^2 \quad (3.3)$$

$$OF_2 = \text{Minumise}(\text{Voltage Profil}) \quad (3.4)$$

Keterangan:

$V_{rated} = 1$

V_i = Tegangan pada bus-i

Batasan:

1. *Batasan Distributed Generation (DG)*

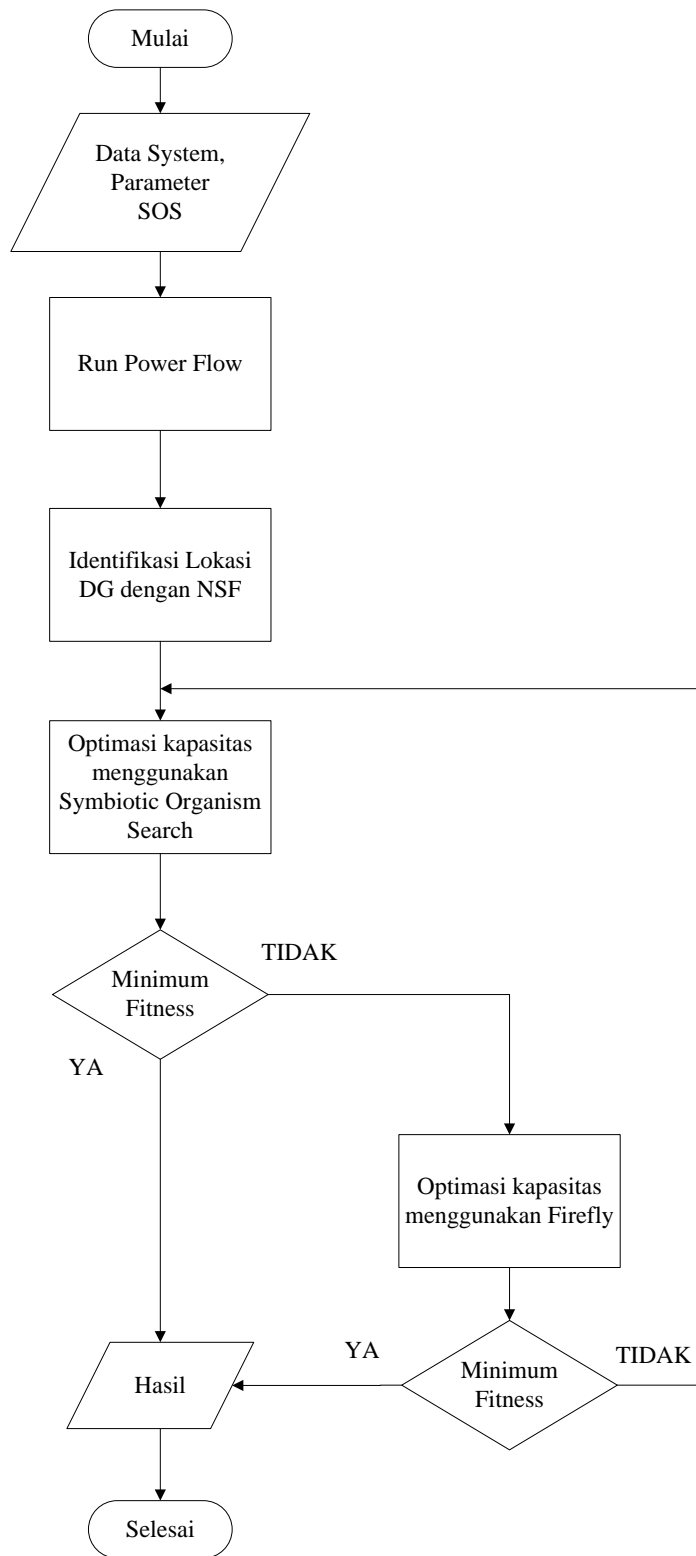
$$\sum_{i=1}^n S_{load} * 30\% \leq \sum_{i=1}^5 DG_i \leq 50\% * \sum_{i=1}^n S_{load} \quad (3.5)$$

Keseluruhan fitness function pada penelitian ini dituliskan sebagai berikut

$$FF = \min(w_1 \times OF_1 + w_2 \times OF_2) \quad (3.6)$$

w_1 dan w_2 adalah *weight*, yang ditentukan oleh pentingnya masing-masing fungsi objektif tersebut

3.7 Flow Chart Penelitian



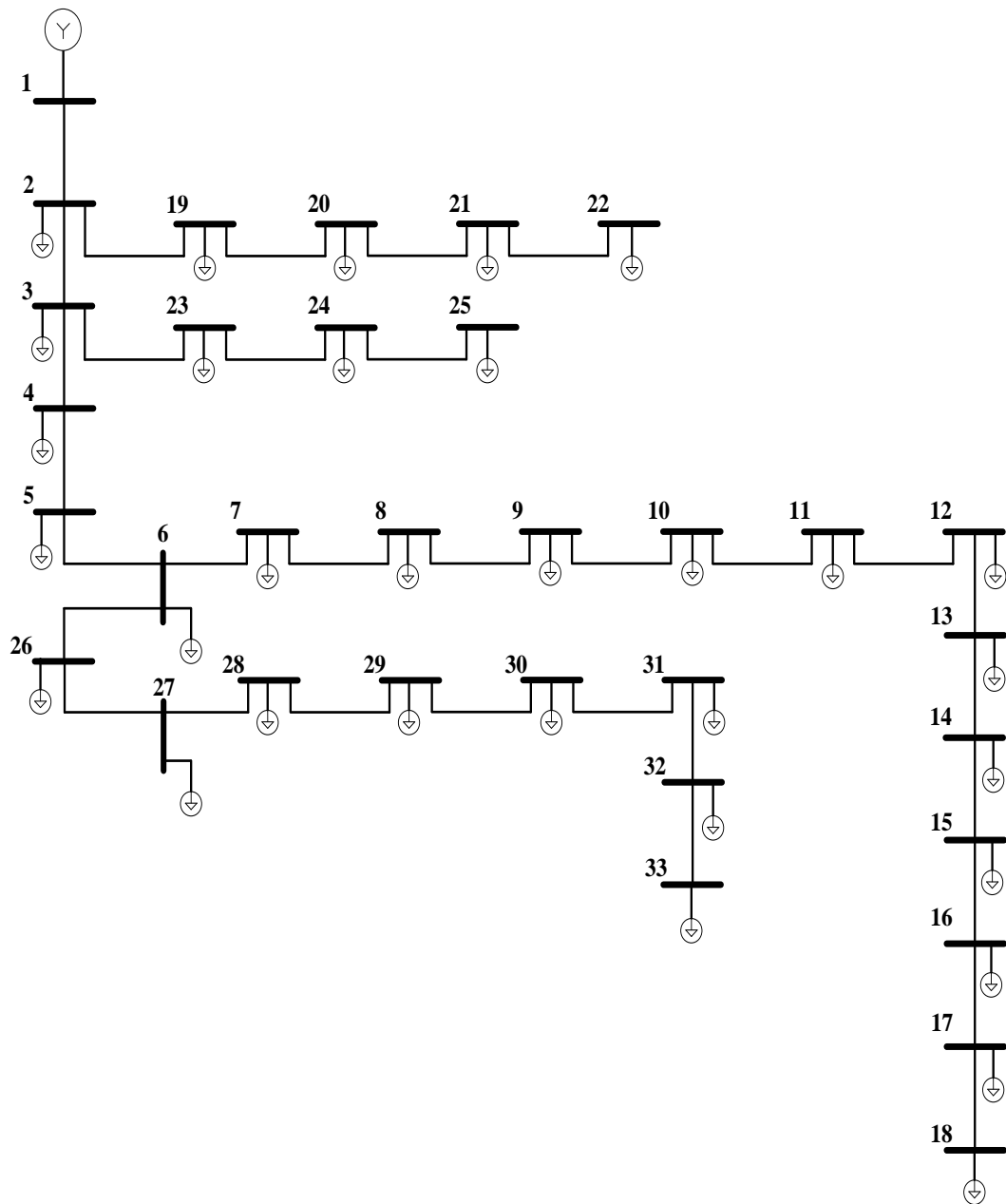
Gambar 3.3 *Flow Chart Penelitian*

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 SLD IEEE 33 Bus

Single Line Diagram (SLD) yang digunakan dalam optimasi penentuan lokasi dan kapasitas DG adalah Sistem IEEE 33 bus tes. Berikut SLD yang dimaksud adalah sebagai berikut



Gambar 4.1 SLD IEEE 33 Bus

4.2 Menentukan Lokasi Menggunakan Novel Sensitivity Factor

Identifikasi lokasi menggunakan LRSF (*Loss Reduction Sensitivity Factor*) dengan menggunakan persamaan (2.11), Seluruh bus di uji coba dengan injeksi 1 MW. Nilai LRSF terbaik adalah yang memiliki nilai LRSF terendah. Tiga lokasi bus terbaik yang dicari pada LRSF digunakan untuk mencari nilai VIPI

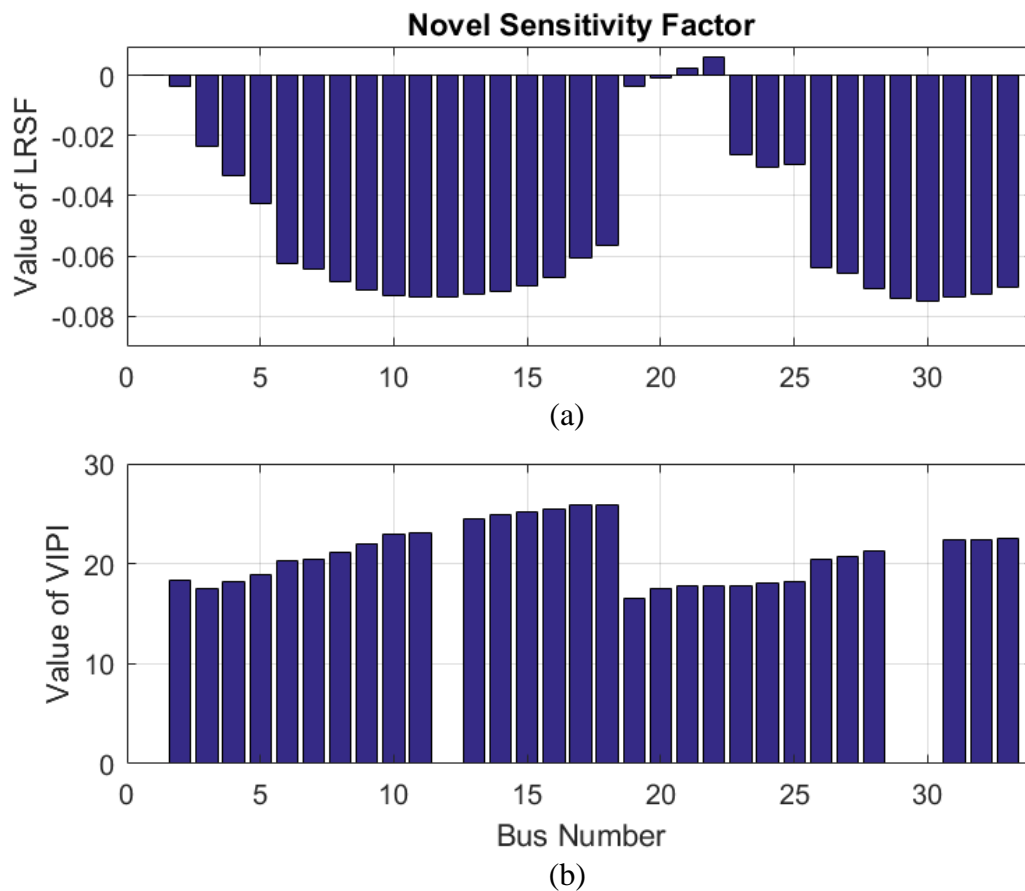
Tabel 4.1 Identifikasi Lokasi DG (LRSF)

Bus No	LRSF	Rank
1	Swing Bus	
2	-0,00390	28
3	-0,02350	27
4	-0,03320	23
5	-0,04260	22
6	-0,06240	19
7	-0,06430	17
8	-0,06840	14
9	-0,07140	10
10	-0,07330	6
11	-0,07350	5
12	-0,07360	3
13	-0,07270	7
14	-0,07180	9
15	-0,06990	13
16	-0,06690	15
17	-0,06040	20
18	-0,05640	21
19	-0,00360	29
20	-0,00070	30
21	0,00230	31
22	0,00580	32
23	-0,02620	26
24	-0,03030	24
25	-0,02940	25
26	-0,06380	18
27	-0,06550	16
28	-0,07080	11
29	-0,07390	2
30	-0,07490	1
31	-0,07360	4
32	-0,07250	8
33	-0,07020	12

Tiga lokasi bus yang sudah diketahui menggunakan LRSF diinterkoneksi dengan DG dengan besaran 0.5 MW per-DG, Selanjutnya untuk VIPI, injeksi DG dengan besaran 0.5 MW disemua bus kecuali di lokasi pada tiga bus yang sudah diketahui melalui LRSF.

Tabel 4.2 Identifikasi Lokasi DG LRSF + VIPI (NSF)

Bus No	NSF	Rank
1	Swing Bus	
2	18,3810	23
3	17,5210	31
4	18,1780	25
5	18,8430	22
6	20,3030	21
7	20,4930	19
8	21,1310	17
9	22,0440	15
10	22,9780	11
11	23,1410	10
12	LRSF	-
13	24,4810	9
14	24,8500	8
15	25,1670	7
16	25,4720	6
17	25,8160	5
18	25,9020	4
19	16,5280	32
20	17,5750	30
21	17,7740	27
22	17,7635	28
23	17,7530	29
24	18,0620	26
25	18,2190	24
26	20,4700	20
27	20,6660	18
28	21,2910	16
29	LRSF	-
30	LRSF	-
31	22,3750	14
32	22,4610	13
33	22,4940	12



Gambar 4.2 Identifikasi lokasi berdasarkan NSF

Pada topology jaringan IEEE 33 bus RDN untuk lokasi menggunakan VIPI tidak bisa langsung di *sensing* dengan menggunakan injeksi DG, karena SLD ini hanya memiliki satu bus generator di bus 1, sesuai dengan gambar 4.1, apabila tetap menggunakan *sensing* VIPI, maka lokasi DG terbaik adalah bus 2,19,20,21,22, lokasi ini tidak tepat untuk penempatan DG karena masih dekat dengan generator bus. Maka diperlukan lokasi awal untuk DG, adalah dengan mengidentifikasi lokasi menggunakan LRSF sehingga didapatkan lokasi untuk 30,29,12 sesuai pada gambar 4.2.a. Selanjutnya pada bus tersebut diberi daya DG sebesar 0.5 MW dan kemudian dilakukan testing injeksi DG seluruh bus kecuali bus yang memiliki generator menggunakan metode VIPI maka didapatlah dua lokasi DG 18,17 sesuai pada gambar 4.2.b.

4.3 Menentukan Kapasitas DG dengan Symbiotic Organism Search

Symbiotic Organism Search terdiri dari tiga fase yaitu mutualisme, komensalisme, dan parasitisme yang direpresentasikan sebagai langkah-langkah pengkodean untuk membentuk suatu ekosistem (populasi), dari populasi yang dibentuk dipilih satu kandidat (organisme) yang terbaik berdasarkan ruang populasi yang sudah dibentuk. Algoritma Proses dari penelitian ini sampai kriteria yang diinginkan adalah:

1. Bentuk Function
 2. Bentuk Constraint (3.5)
 3. Bentuk Fitness Function (3.6)
 4. Tentukan Lokasi X (NSF) pada Function
 5. Inisialisasi data ekosistem (*eco_size*)
- WHILE
- FOR 1: iteration
- FOR 1: *eco_size*.
6. Fase mutualisme,
 - a. Dipilih nilai random untuk X_i dan X_j dimana $X_i \neq X_j$
 - b. Menentukan *mutual_vector* berdasarkan persamaan (2.19)
 - c. Menentukan *Benefit Factor* berdasarkan persamaan (2.20-2.21)
 - d. Modifikasi organisme X_i dan X_j menjadi $X_{i\text{new}}$ dan $X_{j\text{new}}$ dengan persamaan (2.22-2.23)
 - e. Evaluasi fitness X_i dengan $X_{i\text{new}}$; X_j dengan $X_{j\text{new}}$
 - f. Didapatkan hasil yang terbaik X_i dan X_j pada fase mutualisme
 7. Fase komensalisme,
 - a. Nilai X_i yang digunakan adalah nilai yang telah dicari pada fase mutualisme
 - b. Dipilih nilai random untuk X_j (dipilih random oleh coding) dimana $X_i \neq X_j$
 - c. Modifikasi organisme $X_{i\text{new}}$ dengan menggunakan X_i dan X_j berdasarkan persamaan (2.24)
 - d. Evaluasi fitness X_i dengan $X_{i\text{new}}$

- e. Didapatkan hasil terbaik X_i pada fase komensalisme
- 8. Fase parasitisme,
 - a. Nilai X_i yang digunakan adalah nilai yang telah dicari pada fase komensalisme
 - b. Dipilih nilai random untuk X_j (dipilih random oleh coding) dimana $X_i \neq X_j$
 - e. Bentuk *Parasite_Vector* (PV) berdasarkan X_i dengan persamaan (2.26)
 - f. Evaluasi fitness PV dan X_j
 - g. Didapatkan hasil terbaik $X_i = X_i^{(1)}$
- 9. Update Organisme sesuai FF (3.6)

END

4.4 Analisa Penelitian

Penelitian dilakukan dalam 3 skenario, hasil dilihat pada gambar 4.2, Lokasi terbaik DG adalah 18,17,30,29,12. Dan untuk menghitung total *loss reduction* dapat menggunakan rumus :

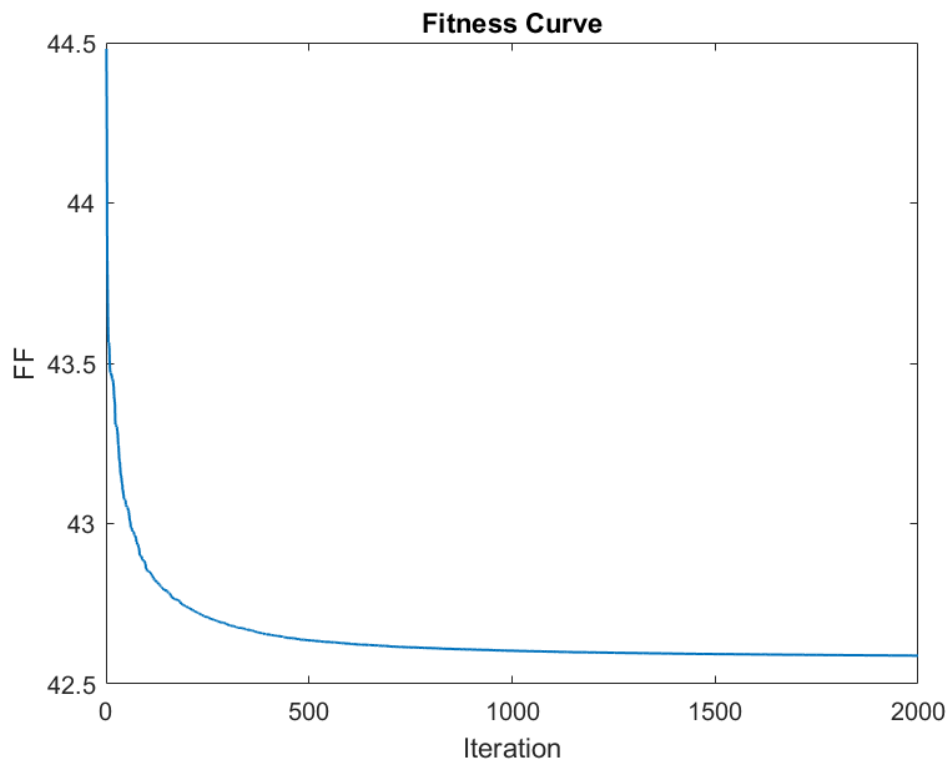
$$\text{Loss Reduction} = \frac{P_{b\text{loss}} - P_{injDG}}{P_{b\text{loss}}} \times 100 \% \quad (4.1)$$

$$\text{Faktor Perbaikan} = \frac{\text{Nilai}_{lama} - \text{Nilai}_{baru}}{\text{Nilai}_{lama}} \times 100 \% \quad (4.2)$$

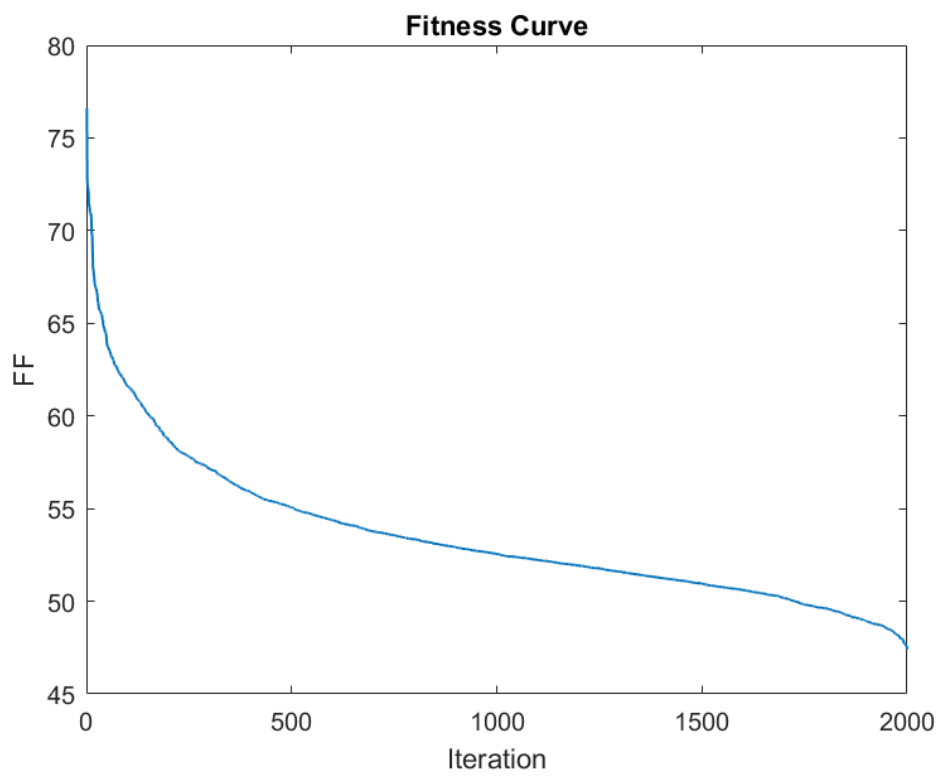
Tabel 4.3 Identifikasi lokasi dan kapasitas DG

	Novel Sensitivity Factor + Metaheuristik					Power Loss	Voltage Deviasi	FF	Min Voltage	Avr Voltage	Max Voltage
Tanpa DG						202,33 kW	0,1166	-	0,913	0,948	1,0
NSF	18	17	30	29	12	109,60 kW	0,0142	-	0,958	0,983	1,0
	600 kW	500 kW	400 kW	300 kW	200 kW						
NSF + SOS	18	17	30	29	12	85,16 kW	0,0120	42,58	0,968	0,982	1,0
	300 kW	300 kW	620 kW	550 kW	350 kW						
NSF + FA	18	17	30	29	12	87,91 kW	0,0133	47,21	0,962	0,82	1,0
	310 kW	330 kW	440 kW	480 kW	480 kW						

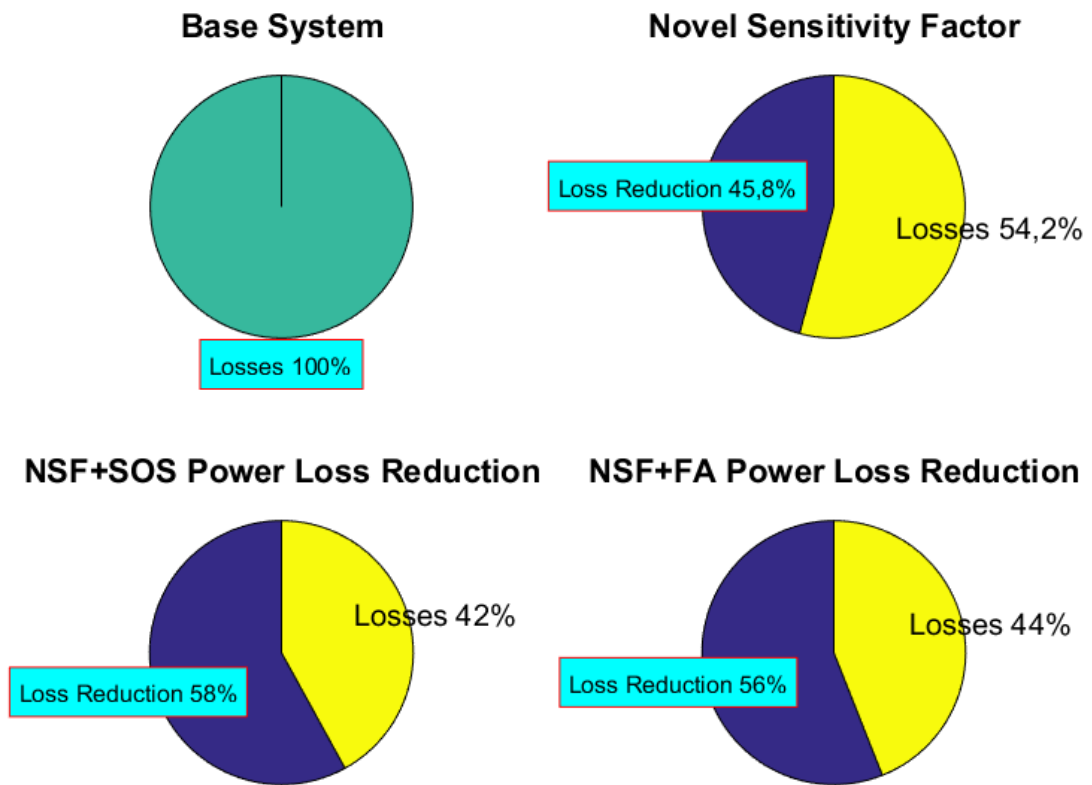
Berdasarkan metode penelitian pada gambar 3.3 dan mengacu pada hasil pada tabel 4.2 maka nilai *fitness* terbaik dimiliki oleh NSF+SOS, Dalam penelitian ini NSF+SOS sebagai skenario terbaik. Pencarian nilai dilakukan oleh *Symbiotic Organism Search* dan *Firefly*, untuk karakter masing-masing metaheuristik dapat dilihat pada gambar 4.3 dan 4.4, Dapat dilihat bahwa SOS menemukan hasil yang terbaik dari *Firefly*.



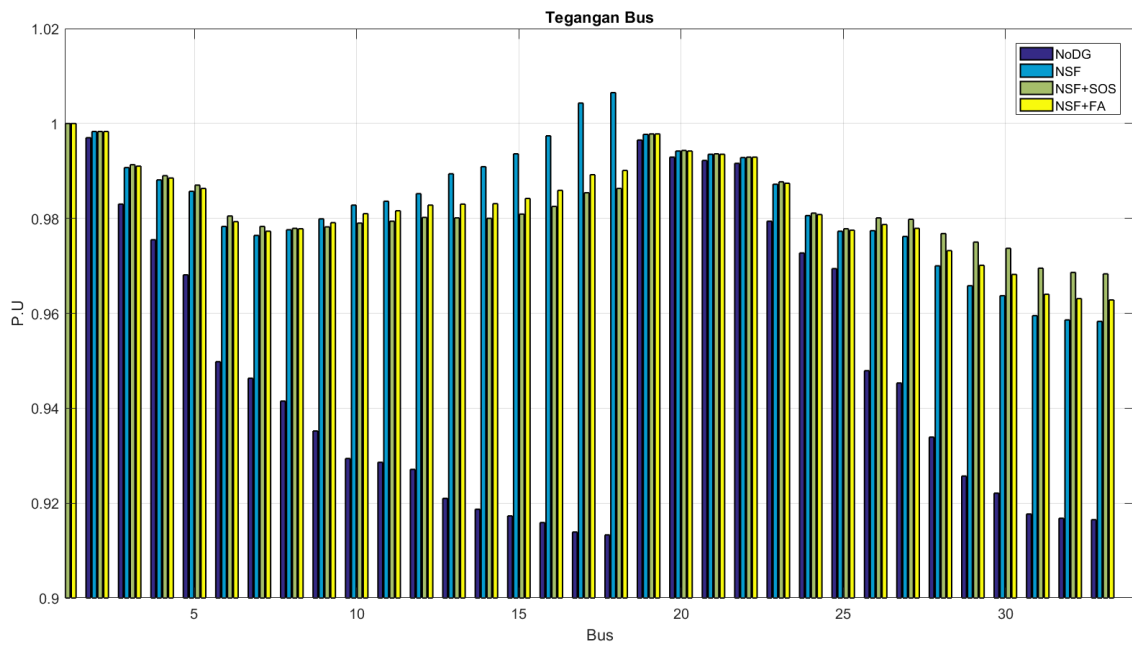
Gambar 4.3 Kurva *fitness Symbiotic Organism Search*



Gambar 4.4 Kurva *fitness Firefly*



Gambar 4.5 *Ploting Power Losses*



Gambar 4.6 *Ploting Voltage Bus*

Penelitian yang telah dilakukan Singh et all [5] melakukan besaran injeksi DG berdasarkan rangking index NSF, hal ini dapat dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan penulis berdasarkan tabel 4.2 yang sudah dikombinasikan dengan metaheuristik.

Dengan menggunakan persamaan (4.2) dari segi *power losses* NSF + SOS memperbaiki 22,3 % dan dari segi *voltage deviasi* memperbaiki 15,5 %. Pada NSF + FA dari segi *power losses* memperbaiki LRSF sebesar 19,7 % dan dari segi *voltage deviasi* memperbaiki 6,3 %. Dengan perhitungan ini dapat membuktikan untuk hasil yang lebih maksimal *novel sensitivity factor* harus dikombinasikan dengan metaheuristik.

Berdasarkan persamaan 4.1 didapatkan total *power losses* sesuai dengan gambar 4.6, maka dapat dikatakan bahwa dengan injeksi DG mampu memperbaiki rugi-rugi daya, berdasarkan gambar 4,7 yang merupakan tegangan per-bus pada SLD IEEE 33 Bus, untuk hasil terbaik berdasarkan *voltage deviasi* adalah NSF + SOS dengan nilai *voltage deviasi* 0,0120 sesuai dengan tabel 4.2.

Ditinjau dari metaheuristik, dengan jumlah iterasi yang sama, berdasarkan *running program symbiotic organism search*, memiliki hasil yang tetap setiap kali *running*. Sedangkan *firefly* memiliki nilai yang selalu berubah di setiap kali *running*. *Firefly* memiliki parameter *alfa*, *beta*, *gamma*, dimana tiga kombinasi ini mempengaruhi hasil sedangkan untuk *symbiotic organism search* tidak memiliki parameter. Berdasarkan hasil *symbiotic organism search* memiliki nilai yang terbaik sesuai fungsi tujuan.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa dalam penelitian maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- a. SOS tidak memiliki parameter yang harus diubah setiap running, sedangkan *Firefly* memiliki *alfa*, *beta*, dan *gamma*, kombinasi 3 parameter ini dapat mempengaruhi hasil.
- b. Bus yang berpotensi untuk peletakan DG adalah bus 12,17,18,29,30.
- c. Penelitian yang telah dilakukan penulis, mampu menginovasikan penelitian NSF, dengan memperbaiki 22,3 % dari *power losses* dan sebesar 15,5 % dari *voltage deviasi*. Sehingga dapat disimpulkan agar hasil lebih maksimal metode *Novel Sensitivity Factor* harus dikombinasikan Metaheuristik.
- d. Berdasarkan metode penelitian yang telah dilakukan SOS memiliki nilai fitness yang paling minimum yaitu 42,58 sedangkan FA adalah 47,21. Sehingga menjadikan skenario *Novel Sensitivity Factor + Symbiotic Organism Search* adalah yang terbaik.

5.2 Saran

Pengembangan penelitian kedepannya *Symbiotic Organism Search* dapat dikembangkan lagi menjadi generasi selanjutnya *modified* atau *adaptive*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. El-Khattam and M. M. A. Salama, "Distributed generation technologies, definitions and benefits," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 71, no. 2, pp. 119–128, 2004.
- [2] I. M. Müller and R. Dornmair, "The European Energy System 2050 – A Review of Current Pathways for Renewable and Conventional Technologies in Europe," pp. 301–306, 2017.
- [3] W. Chen, H. Kim, and H. Yamaguchi, "Renewable energy in eastern Asia : Renewable energy policy review and comparative SWOT analysis for promoting renewable energy in Japan , South Korea , and Taiwan," *Energy Policy*, vol. 74, pp. 319–329, 2014.
- [4] D. S. K. Kanth and M. P. Lalitha, "Mitigation of real power loss, THD & enhancement of voltage profile with optimal DG allocation using PSO & sensitivity analysis," *2014 Annu. Int. Conf. Emerg. Res. Areas Magn. Mach. Drives, AICERA/iCMMD 2014 - Proc.*, pp. 0–5, 2014.
- [5] A. K. Singh and S. K. Parida, "Novel sensitivity factors for DG placement based on loss reduction and voltage improvement," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 74, pp. 453–456, 2016.
- [6] M. P. Lalitha, P. S. Babu, and B. Adivesh, "SOS algorithm for DG placement for loss minimization considering reverse power flow in the distribution systems," *Proc. 2016 Int. Conf. Adv. Commun. Control Comput. Technol. ICACCCT 2016*, no. 978, pp. 443–448, 2017.
- [7] M. Y. Cheng and D. Prayogo, "Symbiotic Organisms Search: A new metaheuristic optimization algorithm," *Comput. Struct.*, vol. 139, pp. 98–112, 2014.
- [8] A.-M. Borbely and J. F. Kreder, *Distributed Generation The Power Paradigm for the New Millenium*. Florida: CRC Press LLC, 2001.

- [9] M. Suter, "Active filter for a microturbine," *Twenty-Third Int. Telecommun. Energy Conf. INTELEC 2001*, vol. 2001, no. 484, pp. 162–165, 2001.
- [10] J. L. Del Monaco, "The role of distributed generation in the critical electric power infrastructure," in *2001 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.01CH37194)*, 2001, vol. 1, pp. 144–145 vol.1.
- [11] M. W. Ellis, M. R. V. O. N. Spakovsky, and D. J. Nelson, "Fuel Cell Systems : Efficient , Flexible Energy Conversion for the 21st Century," vol. 89, no. 12, 2001.
- [12] B. Lasseter, "Microgrids [distributed power generation]," *2001 IEEE Power Eng. Soc. Winter Meet. Conf. Proc. (Cat. No.01CH37194)*, vol. 00, no. C, pp. 146–149, 2001.
- [13] W. L. Hughes, "Comments on the hydrogen fuel cell as a competitive energy source," *2001 Power Eng. Soc. Summer Meet. Conf. Proc. (Cat. No.01CH37262)*, vol. 00, no. C, pp. 726–730, 2001.
- [14] J. Teng, "A Direct Approach for Distribution System Load Flow Solutions," vol. 18, no. 3, pp. 882–887, 2003.
- [15] S. Mahata, S. K. Saha, R. Kar, and D. Mandal, "Optimal design of wideband fractional order digital integrator using symbiotic organisms search algorithm," 2018.
- [16] P. K. Sultana, S. Roy, "Multi-objective particle swarm optimization based on fuzzy-pareto-dominance for possibilistic palnning of electrical distribution systems incorporating distributed generation," *fuzzy set Syst.*, pp. 534–545, 2014.
- [20] V. V. S. N. Murthy and A. Kumar, "Comparison of optimal DG allocation methods in radial distribution systems based on sensitivity approaches," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 53, no. 1, pp. 450–467, 2013.

- [21] A. Pradesh, "Reliability Improvement of Distribution system by Optimal Placement of DGs using PSO and Neural Network," pp. 156–162, 2012.
- [22] K. Nadhir, D. Chabane, and B. Tarek, "Firefly algorithm for optimal allocation and sizing of Distributed Generation in radial distribution system for loss minimization," *2013 Int. Conf. Control. Decis. Inf. Technol. CoDIT 2013*, pp. 231–235, 2013.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

1. Tanpa DG

From Bus	To Bus	Voltage	Current	Power Flow			Losses	
		p.u	Ampere	kW	kVar	kVA	kW	Kvar
1	2	1,0000	364	3917	2434	4612	12,21	6,23
2	3	0,9970	324	3443	2207	4090	51,66	26,31
3	4	0,9830	233	2362	1683	2901	19,85	10,11
4	5	0,9755	221	2222	1593	2735	18,66	9,50
5	6	0,9681	216	2144	1554	2648	38,15	32,85
6	7	0,9498	101	1095	527	1215	1,91	6,31
7	8	0,9463	82	893	421	987	4,83	1,60
8	9	0,9415	63	688	319	759	4,17	3,00
9	10	0,9352	58	624	296	691	3,55	2,52
10	11	0,9294	53	560	274	624	0,55	0,18
11	12	0,9286	48	515	244	570	0,88	0,29
12	13	0,9271	42	454	208	500	2,66	2,09
13	14	0,921	36	391	171	427	0,73	0,96
14	15	0,9187	24	270	90	285	0,36	0,32
15	16	0,9173	19	210	80	225	0,28	0,21
16	17	0,9159	13	150	60	161	0,25	0,34
17	18	0,9139	8	90	40	98	0,05	0,04
18		0,9133						
2	19		31	361	161	395	0,16	0,15
19	20	0,9965	23	270	120	296	0,83	0,75
20	21	0,9929	15	180	80	197	0,10	0,12
21	22	0,9922	7	90	40	98	0,04	0,06
22		0,9916						
3	23		83	939	457	1044	3,17	2,17
23	24	0,9794	75	846	405	938	5,13	4,05
24	25	0,9727	37	421	201	466	1,28	1,01
25		0,9694						
6	26		113	950	973	1360	2,59	1,32
26	27	0,9479	108	888	947	1298	3,32	1,69
27	28	0,9453	103	824	920	1236	11,27	9,94
28	29	0,9339	98	753	890	1166	7,81	6,81
29	30	0,9257	87	625	813	1026	3,89	1,98
30	31	0,9221	40	421	211	472	1,75	1,57
31	32	0,9177	26	270	140	304	0,21	0,25
32	33	0,9168	6	60	40	72	0,01	0,02
33		0,9165						

2. NSF

From Bus	To Bus	Voltage	Current	Power Flow			Losses	
		p.u	Ampere	kW	kVar	kVA	kW	Kvar
1	2	1,0000	236	1824	2379	2998	5,16	2,63
2	3	0,9983	201	1358	2156	2548	20,00	10,19
3	4	0,9907	133	308	1648	1677	6,53	3,33
4	5	0,9881	126	182	1565	1576	6,04	3,07
5	6	0,9857	123	116	1532	1536	12,4	10,67
6	7	0,9783	46	-193	538	572	0,4	1,32
7	8	0,9764	47	-393	437	588	1,61	0,53
8	9	0,9776	55	-595	336	683	3,14	2,26
9	10	0,9799	58	-658	314	729	3,6	2,55
10	11	0,9294	62	-722	291	778	0,77	0,25
11	12	0,9828	65	-767	261	811	1,59	0,52
12	13	0,9836	53	-629	226	668	4,21	3,31
13	14	0,9852	57	-693	187	718	1,78	2,34
14	15	0,9909	65	-815	105	822	2,53	2,25
15	16	0,9936	70	-877	93	882	3,67	2,68
16	17	0,9974	74	-941	70	944	7,19	9,66
17	18	1,0043	40	-508	40	510	1,18	0,92
18		1,0065						
2	19		31	361	161	395	0,16	0,15
19	20	0,9977	23	270	120	296	0,83	0,75
20	21	0,9942	15	180	80	197	0,10	0,12
21	22	0,9935	7	90	40	98	0,04	0,06
22		0,9928						
3	23		83	939	457	1044	3,12	2,13
23	24	0,9872	75	846	405	938	5,05	3,99
24	25	0,9806	37	421	200	466	1,26	0,99
25		0,9773						
6	26		80	237	963	992	2,59	0,66
26	27	0,9774	77	175	937	953	3,32	0,86
27	28	0,9762	74	114	911	918	11,27	5,15
28	29	0,9700	72	48	886	887	7,81	3,65
29	30	0,9658	68	224	812	843	3,89	1,23
30	31	0,9637	38	421	211	471	1,75	1,44
31	32	0,9595	25	270	140	304	0,21	0,23
32	33	0,9586	5	60	40	72	0,01	0,02
33		0,9583						

3. NSF+SOS

From Bus	To Bus	Voltage	Current	Power Flow			Losses	
		p.u	Ampere	kW	kVar	kVA	kW	Kvar
1	2	1,0000	228	1680	2358	2896	4,81	2,46
2	3	0,9983	194	1214	2135	2456	18,58	9,46
3	4	0,9913	130	166	1628	1637	6,22	3,16
4	5	0,9890	123	39	1545	1546	5,8	2,95
5	6	0,9870	121	-25	1512	1512	11,98	10,31
6	7	0,9805	43	133	517	534	0,35	1,15
7	8	0,9783	34	-66	416	421	0,82	0,27
8	9	0,9779	33	-267	316	414	1,15	0,83
9	10	0,9782	35	-328	295	442	1,33	0,94
10	11	0,9790	38	-390	274	477	0,29	0,1
11	12	0,9794	40	-435	244	499	0,61	0,2
12	13	0,9802	20	-146	209	255	0,62	0,49
13	14	0,9801	21	-206	173	269	0,26	0,34
14	15	0,9800	27	-326	93	339	0,44	0,39
15	16	0,9809	31	-387	83	396	0,76	0,55
16	17	0,9825	36	-448	62	452	1,7	2,29
17	18	0,9854	17	-209	40	213	0,21	0,17
18		0,9863						
2	19		31	361	161	395	0,16	0,15
19	20	0,9978	23	270	120	296	0,83	0,75
20	21	0,9943	15	180	80	197	0,10	0,12
21	22	0,9936	7	90	40	98	0,04	0,06
22		0,9929						
3	23		83	939	457	1044	3,12	2,13
23	24	0,9877	75	846	404	938	5,04	3,99
24	25	0,9811	37	421	200	466	1,26	0,99
25		0,9778						
6	26		79	-231	964	992	1,29	0,66
26	27	0,9801	79	-292	938	983	1,78	0,91
27	28	0,9798	78	-354	912	979	6,59	5,81
28	29	0,9768	79	-420	887	981	5,06	4,41
29	30	0,9750	65	3	812	812	2,2	1,12
30	31	0,9737	38	421	211	471	1,56	1,41
31	32	0,9695	24	270	140	304	0,19	0,22
32	33	0,9686	5	60	40	72	0,01	0,02
33		0,9683						

4. NSF + FA

From Bus	To Bus	Voltage	Current	Power Flow			Losses	
		p.u	Ampere	kW	kVar	kVA	kW	Kvar
1	2	1,0000	232	1762	2360	2945	4,98	2,54
2	3	0,9983	197	1296	2136	2499	19,24	9,8
3	4	0,9910	131	248	1629	1648	6,31	3,21
4	5	0,9885	123	121	1546	1551	5,84	2,97
5	6	0,9863	121	55	1513	1514	12,02	10,35
6	7	0,9793	42	-33	519	521	0,33	1,09
7	8	0,9773	38	-233	418	479	1,07	0,35
8	9	0,9778	43	-434	318	538	1,95	1,40
9	10	0,9791	46	-496	297	578	2,27	1,61
10	11	0,9810	50	-558	275	622	0,49	0,16
11	12	0,9816	52	-604	245	652	1,03	0,34
12	13	0,9828	22	-185	210	280	0,74	0,58
13	14	0,9830	24	-246	174	301	0,32	0,42
14	15	0,9831	30	-366	94	378	0,54	0,48
15	16	0,9842	34	-426	83	434	0,91	0,66
16	17	0,9859	39	-487	62	491	2	2,68
17	18	0,9892	17	-219	40	223	0,23	0,18
18		0,9901						
2	19		31	361	161	395	0,16	0,15
19	20	0,9978	23	270	120	296	0,83	0,75
20	21	0,9942	15	180	80	197	0,10	0,12
21	22	0,9935	7	90	40	98	0,04	0,06
22		0,9929						
3	23		83	939	457	1044	3,12	2,13
23	24	0,9874	75	846	404	938	5,05	3,99
24	25	0,9811	37	421	200	466	1,26	0,99
25		0,9775						
6	26		77	17	963	963	1,22	0,62
26	27	0,9787	75	-44	937	938	1,63	0,83
27	28	0,9779	74	-105	911	917	5,81	5,12
28	29	0,9732	73	-171	886	903	4,31	3,76
29	30	0,9701	67	184	812	833	2,33	1,19
30	31	0,9682	38	421	211	471	1,58	1,42
31	32	0,9640	24	270	140	304	0,19	0,22
32	33	0,9631	5	60	40	72	0,01	0,02
33		0,9628						

Data IEEE 33 Bus data

Bus No	P (kW)	Q (kVar)
1	Swing	
2	200	60
3	190	40
4	220	80
5	160	30
6	160	20
7	200	100
8	200	100
9	60	20
10	60	20
11	45	30
12	60	35
13	60	35
14	120	80
15	60	10
16	60	20
17	60	20
18	90	40
19	90	40
20	90	40
21	90	40
22	90	40
23	90	50
24	420	200
25	420	200
26	60	25
27	60	25
28	60	20
29	120	70
30	200	600
31	150	70
32	210	100
33	60	40

Data IEEE 33 Line data

From Bus	To Bus	R (ohm)	X (ohm)
1	2	0,09200	0,04696
2	3	0,49189	0,25051
3	4	0,36527	0,18592
4	5	0,38033	0,19361
5	6	0,81725	0,70537
6	7	0,18672	0,61738
7	8	0,70986	0,23464
8	9	1,02769	0,73839
9	10	1,04179	0,73839
10	11	0,19618	0,06491
11	12	0,37360	0,12357
12	13	1,46476	1,15254
13	14	0,54045	0,71130
14	15	0,58965	0,52490
15	16	0,74464	0,54382
16	17	1,28621	1,71719
17	18	0,73038	0,57266
2	19	0,16364	0,15611
19	20	1,50098	1,35241
20	21	0,40854	0,47730
21	22	0,70730	0,93521
3	23	0,45021	0,30757
23	24	0,89610	0,70762
24	25	0,89402	0,69960
6	26	0,20259	0,10322
26	27	0,28353	0,14441
27	28	1,05670	0,93168
28	29	0,80250	0,69912
29	30	0,50631	0,25788
30	31	1,06744	0,96085
31	32	0,30981	0,36110
32	33	0,34027	0,52907

BIODATA PENULIS



Gema Setyawan, adalah penulis dalam penelitian ini, lahir pada tanggal 22 September 1994 di Samarinda – Kalimantan Timur. Menempuh Pendidikan dasar SDN 10 ATTS Bukittinggi–Sumatera Barat dan menyelesaikan pada tahun 2006, Kemudian menyelesaikan Pendidikan menengah pertama SMP 3 Bukittinggi-Sumatera Barat pada tahun 2009, Pendidikan menengah atas SMA 4 Bukittinggi-Sumatera Barat pada tahun 2012. Karena kecintaanya terhadap dunia pendidikan, penulis melanjutkan Pendidikan Tinggi Diploma IV Teknik Elektro Industri di Universitas Negeri Padang, Padang - Sumatera Barat, dengan mengambil skripsi dengan fokus “**Fuzzy Logic dan Interface**” lulus pada tahun 2016 dan telah mendapatkan gelar S.ST (Sarjana Sains Terapan). Karena tekad yang kuat untuk terjun ke dunia pendidikan, penulis melanjutkan Pendidikan Tinggi Strata-2 Teknik Elektro dengan bidang keahlian Teknik Sistem Tenaga di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya–Jawa Timur pada tahun 2017, dengan mengambil tesis pada fokus “**Sensitivity Factor dan Metaheuristik**”,. Penulis telah mengikuti International Conference IMRCS dengan judul “**Symbiotic Organism Search for Sizing and Optimal Location of Distributed Generation using Novel Sensitivity Factor**” pada tanggal 22 November 2018 dan ujian tesis pada 17 Desember 2018 sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar M.T (Magister Teknik). Selanjutnya hal yang terkait dengan riset dan penelitian yang perlu didiskusikan dapat melalui email: gema.setyawan1@gmail.com