SIMULASI PEMBANGKIT TERDISTRIBUSI DENGAN ALGORITMA *INVASIVE WEED OPTIMIZATION* UNTUK MENGURANGI RUGI DAYA

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro

Oleh

Toni Widiyanto

NIM. 5301414080

PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2019

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Toni Widiyanto

NIM : 5301414080

Program Studi : Pendidikan Teknik elektro

Judul :Simulasi Pembangkit Terdistribusi dengan Algoritma Invasive Weed Optimization untuk Mengurangi Rugi Daya

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi S-1 Pedidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 10 Mei 2019

Pembimbing

Drs. Agus Murnomo, M.T.

NIP. 195506061986031002

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul "Simulasi Pembangkit Terdistribusi dengan Algoritma *Invasive Weed Optimization* untuk Mengurangi Rugi Daya" telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal bulan Mei 2019.

Oleh

Nama	: Toni Widiyanto
NIM	: 5301414080
Program Studi	: S-1 Pendidikan Teknik Elektro

Panitia:

Ketua Panitia

Dr.-Ing. Dhidik Prastyanto, S.T.,M.T

NIP. 197805312005011002

Sekretaris Panitia

Drs. Agus Suryanto, M.T.

NIP. 196708181992031004

Penguji I

Drs. Sutarno, M.T.

NIP. 195510051984031001

Penguji II

Drs. Yohanes Primadiyono, M.T.

NIP. 196209021987031002

Penguji III/Pembimbing

Drs. Agus Murnomo, M.T.

NIP. 195506061986031002

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik UNNES

Dr. Nur Qudus, M.T.

NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa	: Toni Widiyanto
NIM	: 5301414080
Program Studi	: Pendidikan Teknik Elektro
Fakultas	: Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul "Simulasi Pembangkit Terdistribusi dengan Algoritma *Invasive Weed Optimization* untuk Mengurangi Rugi Daya" ini merupakan hasil karya sendiri dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi negeri mana pun, dan sepanjang pengetahuan saya dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah di tulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Semarang, 10 Mei 2019

Yang membuat pernyataan

Toni Widiyanto

NIM. 5301414080

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto

- Berbuatlah BAIK bukan untuk terlihat baik, tetapi karena memang itu KEBAIKAN.
- Cukup kerjakan dan berdoa lah. Masalah hasilnya biar Allah yang menentukan.

Persembahan

- Allah Subhanahu Wa Ta'ala
- Kedua orang tua, saudara dan keluarga yang menjadi penyemangat dan pemberi dukungan.
- Dosen pembimbing Drs. Agus Murnomo, M.T. yang telah memberikan arahan dan bimbingan sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.
- Tim Unnes Electrical Engineering Student Research Group (UEESRG) yang telah memberikan dukungan dan waktu untuk diskusi bersama selama menyelesaikan skripsi.
- Teman-teman seperjuangan PTE 2014, Pt3ronadon, dan semua pihak yang senntiasa memberikan doa, dukungan dan semangat.

ABSTRAK

Toni Widiyanto. 2019. Simulasi Pembangkit Terdistribusi dengan Algoritma *Invasive Weed Optimization* untuk Mengurangi Rugi Daya. Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Drs. Agus Murnomo, M.T.

Permintaan energi listrik yang terus meningkat dan tidak sebanding dengan bertambahnya penyedia energi listrik mengakibatkan permasalahan pada sistem distribusi tidak seimbang. Solusi yang ditawarkan untuk memenuhi permintaan beban yang terus meningkat dengan memasang pembangkit terdistribusi pada sisi pelanggan untuk mengurangi rugi daya. Hilangnya daya saat proses transmisi dan distribusi karena pengaruh jenis beban yang berbeda seperti industri, komersial, perumahan dan beban campuran. Oleh karena itu, jenis beban menjadi pertimbangan untuk menentukan lokasi dan ukuran DG yang akan di pasang dalam perencanaan yang optimal.

Metode *backward/forward sweep* digunakan untuk menghitung aliran daya dan menentukan lokasi yang akan dipasang DG menggunakan *Loss Sensitive Factor*. *Invasive Weed Optimization* merupakan algoritma *Meta-Heuristic* yang meniru sifat rumput liar untuk mencari nilai paling optimal.Algoritma tersebut digunakan untuk menentukan ukuran optimal DG yang akan dipasang pada sistem distribusi. Metode yang diusulkan di uji dengan tipe beban yang berbeda pada IEEE bus sistem distribusi radial. Hasil yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan algoritma optimasi lain dalam kasus yang sama menunjukkan peningkatan profil tegangan dan mengurangi rugi daya secara signifikan.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dengan jenis beban yang berbeda seperti beban komersial, beban perumahan, beban industri dan beban campuran menunjukan hasil yang baik. Profil tegangan terendah pada bus 18 mengalami perbaikan setelah dilakukan pemasangan *Distributed Generation* dari 0.90 p.u menjadi 0.96 p.u. Dari hasil pengujian kemampuan algoritma terhadap masalah optimasi menunjukkan bahwa IWO dapat menentukan lokasi dan ukuran DG terbaik dengan menurunkan rugi daya sebesar 68.2 % dibanding dengan algoritme optimasi lain yang digunakan sebagai pembanding. Nilai optimasi terendah pada algoritma *Genetic Algorithm* yang mampu mengurangi rugi daya sebesar 49.61 %. Kemudian diikuti dengan algoritma PSO, GA/PSO, dan BFOA yang terus mengalami perbaikan optimasi.

Kata Kunci : *Distributed Generation*, Rugi Daya, *Invasive Weed Optimization*

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala nikmat, rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Simulasi Pembangkit Terdistribusi dengan Algoritma Invasive Weed Optimization untuk Mengurangi Rugi Daya"**.**

Skripsi ini disusun dalam rangka menyelesaikan studi strata yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Penulis menyadari sepenuhnya dalam menyelesaikan skripsi ini tidak lepas dari bantuan orang lain. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr.-Ing. Dhidik Prastoyanto, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Elektro dan Ketua Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan , arahan dan motivasi kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Drs. Agus Murnomo, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan memberikan bimbingan arahan dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
3. Segenap para Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan selama kuliah.
4. Dr . Nur Qudus, M.T. Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
5. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas negeri Semarang.
6. Kedua orang tua tercinta yang telah memberikan doa, semangat dan motivasi.

7. A'inna Nur Fahma yang selalu memberi semangat dalam menyelesaikan skripsi.
8. Keluarga "Kontrakan Mawar" yang selalu membantu dalam setiap kesulitan selama kuliah.
9. Keluarga "PT3RONADON" yang selalu membantu dan menemani dalam setiap kesulitan selama kuliah.
10. Teman-teman yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang sudah membantu dalam terselesaikan nya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa kesempurnaan hanya milik Allah SWT. Oleh karena itu , kritik dan saran yang membangun demi memperbaiki skripsi ini sangat diharapkan. Akhir kata, dengan tangan terbuka dan tanpa mengurangi makna serta isi skripsi, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca khususnya.

Semarang, Mei 2019

Toni Widiyanto
NIM. 5301414080

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL…… i

PERSETUJUAN PEMBIMBING…… ii

PENGESAHAN……... iii

PERNYATAAN KEASLIAN……. iv

MOTTO DAN PERSEMBAHAN…….. v

RINGKASAN……. vi

PRAKATA……. vii

DAFTAR ISI…….. ix

DAFTAR TABEL……... xii

DAFTAR GAMBAR…….. xiii

DAFTAR LAMPIRAN…….. xiv

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang…… 1

1.2 Identifikasi Masalah…… 7

1.3 Pembatasan Masalah…….…… 8

1.4 Rumusan masalah……..…… 8

1.5 Tujuan Penelitian…….……..……... 9

1.6 Manfaat Penelitian……..…… 9

1.7 Penegasan Istilah ……. 10

BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka…… 11

2.2 Distributed Generation…… 13

2.3 Sistem Per Unit……... 15

2.4 Metode Aliran Daya *Forward/Backward Swee*……. 16

2.5 Rugi Daya/ *Loss Power*……...……..... 18

2.6 Invasive Weed optimization……..…… 21

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian ……..……. 24

3.2 Alat dan Bahan……..…… 24

3.3 Gambaran Umum Desain Penelitian……..…….. 24

3.3.1 Metode Penelitian ……....…… 24

3.3.2 Langkah Penelitian ……..…...…….. 25

3.4 Desain Simulasi Jaringan Distribusi 33 bus …...…….. 26

3.5 Karakteristik Beban …… 27

3.6 Menentukan Lokasi Optimal *Distributed Generation* ……... 27

3.7 Menentukan Ukuran Optimal *Distributed Generation* ……... 28

3.8 Implementasi Metode yang diusulkan ……. 30

3.9 Teknik Pengumpulan Data …….. 32

3.10 Teknik Analisis Data ……...…… 32

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Performa Jaringan Distribusi 33 bus IEEE …….…… 34

4.2 Perencanaan Lokasi dan Ukuran Optimal *Distributed Generation* .. 38

4.3 Pengujian Algoritma *Invasive Weed Optimization* …… …… 44

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan ……. 46

5.2 Saran …… 47

DAFTAR PUSTAKA ……..……. 48

LAMPIRAN …… ……..…… 51

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jenis Beban dan Nilai Eksponen ……... 27

Tabel 3.2 Parameter Algoritma IWO …… 30

Tabel 4.1 Data Sistem Distribusi Radial 33 Bus IEEE ……..... 35

Tabel 4.2 Jatuh Tegangan dan Rugi Daya pada Sistem Distribusi 33 Bus …. 36

Tabel 4.3 Rugi Daya beban Constant Power ……. 39

Tabel 4.4 Rugi Daya pada Beban Constant Power dan Mix Lo…… 40

Tabel 4.5 Rugi daya pada Beban Constant Current dan Constant Impeda…… 41

Tabel 4.6 Rugi Daya pada Beban Perumahan, Industri, dan Komersial …….. 42

Tabel 4.7 Perbandingan Uji Algoritma Optimasi …….. 44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram *One Line* Sistem Distribusi ……. 17

Gambar 2.2 Sampel Diagram Aliran Beban Sistem Distribusi …… 18

Gambar 3.1 Flowchart Langkah-langkah Penelitian ……. 25

Gambar 3.2 Jaringan Distribusi Radial 33 bus …….. 26

Gambar 3.3 Flowchart Algoritma *Invasive Weed Optimization* ……..... 29

Gambar 4.1 Grafik Profil Tegangan Sistem Distribusi 33 Bus …….. 37

Gambar 4.2 Grafik Profil Tegangan Jenis Beban Berbeda …… 43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Coding MATLAB Sistem Distribusi 33 Bus …… 52

Lampiran 2 SK Dosen Pembimbing…… 71

Lampiran 3 Surat Tugas Dosen Penguji……. 72

Lampiran 4 Berita Acara Seminar Proposal …….. 73

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan dasar untuk membangun perokonomian suatu bangsa, khususnya energy listrik yang sangat di butuhkan dalam perkembangan teknologi saat ini (Bhatti *et al.*, 2015). Untuk dapat memanfaatkan energi listrik oleh konsumen perlu adanya penyaluran dari pusat pembangkitan menuju ke beban melalui jaringan transmisi energy listrik yang kemudian akan di distribusikan kepada konsumen (Mahmood *et al.*, 2014). System distribusi secara konvensional telah di gunakan untuk mengirimkan energy listrik dalam satu arah dari pusat pembangkit listrik dengan menaikan level tegangan dan kemudian di teruskan menuju pengguna akhir dengan menurunkan level tegangan secara bertahap. Penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit melalui jalur transmisi dan distribusi hingga pengguna akhir dapat menurunkan efesiensi sistem karena rugi daya dan variasi tingkat tegangan. Terjadinya penyusutan pada saluran (penghantar), transformator, dan peralatan lain yang terpasang pada jaringan tersebut. Kondisi tersebut dapat menyebabkan kualitas daya memburuk, variasi tegangan dan daya yang tidak terpenuhi.

Meningkatnya jumlah konsumsi listrik setiap tahunnya secara signifikan perlu adanya penanganan untuk memenuhi kebutuhan tersebut selain upaya untuk mengurangi rugi daya. Menurut kementerian ESDM

(2018) bahwa konsumsi energi listrik di Indonesia pada tahun 2017 mencapai 1.02 MWH meningkat 6.25% dari tahun sebelumnya. Semakin besar permintaan energi listrik oleh konsumen, maka semakin besar pula rugi daya dan jatuh tegangan pada proses penyaluran energi listrik sebagai akibat dari besarnya arus listrik yang mengalir. Permasalahan yang muncul bagaimana mengurangi rugi daya dan meningkatkan profil tegangan sedangkan pihak penyedia energi listrik berkembang begitu lambat dalam meningkatkan kapasitas energi yang dapat dihasilkan. Pembangunan sumber energi lisrik dan pembangkitan yang baru guna memenuhi kebutuhan energi listrik yang terus meningkat memerlukan biaya yang sangat besar. Oleh karena itu perlu adanya solusi untuk mengatasi masalah tersebut. salah satu solusinya ialah dengan memasang *Distributed Generation* pada sistem distribusi.

Penentuan lokasi dan ukuran Distributed Generation (DG) dianggap pertimbangan penting dalam menyelesaikan masalah optimasi pada system distribusi Smart Grid (Badran *et al.*, 2017). Lokasi dan ukuran yang sesuai dengan system distribusi dan kebutuhan beban akan sangat membantu dalam menjaga kestabilan tegangan dan mengurangi rugi daya. Penelitian yang telah dilakukan (Kroposki *et al.*, 2013) telah menunjukan penentuan lokasi dan ukuran Distributed Genertaion dapat mengurangi rugi daya di banding tanpa di pasang DG.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menentukan lokasi dan ukuran DG yang akan di pasang dalam system jaringan distribusi dengan berbagai metode algoritma yang berbeda. Kazeem & Alor (2017)

menyebutkan bahwa penggunaan algoritma Neural-Genetic dalam menentukan lokasi DG yang optimal dapat menurunkan rugi daya, meningkatkan profil tegangan dan meningkatkan stabilitas system. Namun, algoritma ini hanya di uji pada peningkatan profil tegangan untuk mengurangi rugi daya dalam menentukan lokasi DG. Selanjutnya penelitian (Biswas *et al.*, 2012; Singh *et al.*, 2017) mengunakan algoritma genetika (GA) dalam menentukan lokasi optimal DG. Algoritma genetika merupakan metode yang dapat memecahkan masalah non-linier, non-dimensi, dan non-continuous. Metode GA yang dilakukan secara real time terbatas pada solusi acak dan kurangnya kecepatan konvergensi. *Singh et al*., (2009) juga menyebutkan bahwa penggunaan GA dalam masalah menentukan lokasi dan ukuran yang optimal untuk DG dapat mengurangi rugi daya dalam kondisi beban yang berbeda yaitu beban puncak, beban sedang dan beban rendah.

Metode lain yang digunakan untuk menentukan lokasi dan ukuran optimal DG yang akan di pasang pada jaringan distribusi adalah *Particle Swarm optimization.* Dalam penelitian yang di lakukan oleh (El-Zonkoly, 2011; Pandey & Bhadoriya, 2014) menjelaskan bahwa kondisi beban yang berbeda dalam menentukan lokasi dan ukuran yang optimal untuk DG dalam system distribusi dapat di pecahkan dengan menggunakan algoritma PSO yang diterapkan pada system uji radial 38 bus dan system uji Mesh 30 bus IEEE. Penggunaan PSO dalam masalah optimasi dapat mengurangi waktu komputasi dan membutuhkan sedikit memori. Akan tetapi, penggunaan PSO mudah mengalami masalah optimasi parsial dalam menentukan lokasi DG (Bhumkittipich & Phuangpornpitak, 2013). Uniyal & Kumar (2018)

menggunakan *Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm* (NSGA-II) dan *Loss Sensitive Factor* (LSF) untuk menentukan lokasi yang optimal dari DG yang akan dipasang. Dari penelitian tersebut di dapat bahwa pemasangan DG dapat mengurangi rugi daya dan meningkatakan profil tegangan. Namun, penerapan algoritme NSGA masih terkendala masalah waktu konvergensi yang lama. *Loss Sensitive Factor* dan *Firefly algorithm* digunakan dalam menentukan lokasi yang optimal untuk memasang capasitor pada sistem distribusi yang mengurangi rugi daya diteliti oleh (Das & Banerjee, 2014). Beberapa penelitian optimasi seperti *Bacterial Foraging optimization* (BFO) (Mohamed & Kowsalya, 2014), *Modified Bacterial Foraging Optimization* (MBFO) (Devi & Geethanjali, 2014), *Flower pollination* dan *Loss Sentive Factor* (Abdelaziz *et al.*, 2016), dan motode *hybrid Improve Particle Swarm Optimiation* dan *Monte-Carlo* merupakan 4lgoritme optimasi yang digunakan untuk menentukan lokasi dan ukuran optimal DG yang akan di pasang pada sistem distribusi. 4lgoritme tersebut di uji pada sistem distribusi 33 bus dan 69 bus IEEE dengan jenis beban yang berbeda terbatas pada solusi acak dan kurangnya kecepatan konvergensi. Solusi lain yang di usulkan dalam memecahkan masalah optimasi DG pada kondisi beban yang berbeda ialah Invasive Weed Optimization (IWO). (Rani *et al.*, 2014) menjelaskan bahwa metode optimasi dengan menggunakan algoritma *Invasive Weed Optimization* dapat digunakan untuk menentukan lokasi yang optimal dalam penempatan DG pada system distribusi untuk mengurangi rugi daya dan meningkatkan profil tegangan. Algoritma IWO di uji pada system uji IEEE 33 Bus dan 69 sistem distribusi radial tanpa memperhitungkan pengaruh kondisi beban yang

berbeda. Hal ini menunjukan bahwa kondisi beban yang berbeda dapat secara signifikan mempengaruhi lokasi dan ukuran DG yang akan di pasang pada system distribusi. peneliti lain yang menggunakan algoritma IWO dalam memecahkan masalah optimasi adalah (Zheng & Li, 2018) yang menentukan beban *chiller optimal* dalam mengkonsumsi daya. Algoritma IWO yang digunakan menunjunkan hasil yang baik dengan membandingkan algoritma optimasi yang lain dari segi konvergensi, kestabilan dan ketangguhan optimasi algoritma.

Rama Prabha & Jayabarathi (2016) menjelaskan bahwa algoritma Invasive Weed optimization (IWO) dinilai lebih efektif dalam menentukan ukuran DG di banding dengan beberapa algoritma lain. Hal ini di karenakan algoritma bekerja menyebar keseluruh wilayah distribusi untuk menentukan nilai optimal yang dibutuhkan. Profil tegangan dengan menggunakan algoritma IWO untuk menentukan ukuran optimal DG pada system distribusi meningkat. Namun, hanya terbatas pada jenis beban konstan pada perumahan. Dalam jaringan distribusi kondisi beban yang berbeda dan bersifat induktif dapat menyebebkan lagging pf (faktor daya) pada system distribusi (Chaithra & Padmaja, 2015). Oleh karena itu, kehilangan power faktor dapat meningkatkan kerugian jaringan, profil tegangan dan keamanan system dapat memburuk (Rao & Raju, 2011). Sehingga, jenis beban pada jaringan distribusi menjadi pertimbangan secara teknis dan kehandalan dalam perencanaan optimal menentukan lokasi dan ukuran *Distributed Generation* yang akan di pasang pada sistem.

Penentuan lokasi dan ukuran *Distributed Generation* yang optimal dalam merencanakan sistem distribusi manjadi pembahasan dalam penelitian ini. *Loss Sensitive Factor* digunakan untuk menentukan lokasi optimal DG yang akan di pasang berdasarkan nilai rugi daya paling sensitive hasil perhitungan dengan metode *backwar/forward sweep* aliran daya. Algoritma *Invasive Weed Optimization* (IWO) di gunakan dalam menentukan ukuran DG yang optimal. Ukuran terbaik yang akan di pasang di tentukan berdasarkan sifat rumput liar yang digunakan dalam algoritma. Parameter IWO ditentukan untuk membatasi proses pencarian ukuran optimal DG yang akan dipasang. Penentuan lokasi dan ukuran DG di uji pada IEEE radial test feeder 33 bus dengan menggunakan aplikasi MATLAB sebagai media simulasi. Hasil pengujian algoritma yang digunakan kemudian dibandingkan dengan algoritma lain dalam kasus yang sama. Ditujukan mengetahui kehandalan sistem optimasi dalam mengurangi rugi daya dan memperbaiki profil tegangan pada jaringan distribusi.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarakan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat diidentifikasi masalah dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Permintaan energi listrik yang meningkat secara signifikan tidak sebanding dengan pembangkit energi listrik yang ada.
2. Pembangkit baru dan proses pengiriman energi listrik memerlukan biaya yang besar serta waktu pembangunan yang lama.

3. Proses pengiriman energi lisrik menyebabkan terjadinya rugi daya dan memburuknya kualitas tegangan.
4. Ukuran dan lokasi *Distributed Generation* yang tidak optimal dapat meningkatkan rugi daya dan memburuknya profil tegangan.
5. Variasi beban yang berbeda pada jaringan distribusi menjadi masalah dalam penentuan ukuran dan lokasi *Distributed Generation* (DG) untuk mengurangi rugi daya dan meningkatkan profil tegangan.

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup pembahasan dalam penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

1. Skripsi ini membahas ukuran dan lokasi Distributed Genenration pada jaringan distribusi radial.
2. Hanya menghitung rugi daya dan profil tegangan dalam menentukan lokasi dan ukuran DG.
3. Rugi daya yang dihitung berdasarkan nilai beban dan hambatan penghantar.
4. Menggunakan algoritma Invasive Weed Optimization (IWO)
5. Sistem di uji pada test feeder 33 bus jaringan distribusi radial
6. System simulasi menggunakan Simulink pada software MATLAB 2014a
7. Kehandalan system distribusi radial tidak di bahas,
8. Frekuensi, perubahan tegangan dan gangguan pada jaringan distribusi tidak dibahas.

1.4 Rumusan Masalah

Ditinjau dari identifikasi masalah yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan lokasi dan ukuran *Distributed Generation* (DG) untuk meningkatkan profil tegangan dan mengurangi rugi daya dengan variasi beban berbeda pada jaringan distribusi radial (IEEE 33 bus)?
2. Bagaimana kinerja algoritma *Invasive Weed Optimization* dibanding dengan algoritme optimasi lain dalam kasus yang sama?

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini yang hendak dicapai penulis dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk menentukan lokasi dan ukuran *Distributed Generation* (DG) yang optimal sehingga meningkatkan profil tegangan dan mengurangi rugi daya dengan variasi beban yang berbeda pada jaringan distribusi radial IEEE 33 bus.
2. Untuk mengetahui kinerja algoritma *Invasive Weed optimization* dibanding dengan algoritma optimasi lain dalam kasus yang sama.

1.6 Manfaat Penelitian

Hasil perancangan dan simulasi algoritma IWO dalam menentukan lokasi dan ukuran optimal DG pada jaringan distribusi radial, diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan pengetahuan mengenai penggunaan algoritma *Invasive Weed Optimization* (IWO) dalam menentukan ukuran optimal *Distributed Generation* (DG) pada jaringan distribusi radial.
2. Menjadi rujukan pengembangan metode optimasi penentuan lokasi dan ukuran DG bagi peneliti dimasa mendatang

1.7 Penegasan Istilah

Untuk menghindari salah penafsiran yang berbeda tentang penelitian ini, diberikan beberapa penjelasan istilah sebagai berikut:

1. *Loss Power* / Rugi Daya

   Kehilangan daya akibat proses pengiriman energy listrik dari pembangkit menuju konsumen.
2. Optimal Planning

   Penentuan lokasi dan ukuran paling optimal
3. *Distributed Generation* (DG)

   Pembangkit listrik skala kecil yang di pasang dalam jaringan distribusi
4. Algoritma

   Cara atau urutan suatu metode untuk menyelesaikan masalah

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Pada bab ini dijelaskan tentang kajian teori dari referensi penunjang penjelasan permasalahan. Adapun bahasan dalam bab ini meliputi penelitian sebelumnya, teori tentang sistem distribusi, jaringan distribusi, distributed generation, loss power/rugi daya, invasive weed optimization.

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian terdahulu yang berkaitan dengan minimalisasi rugi daya pada jaringan distribusi radial meliputi :

1. (Biswas *et al.*, 2012) melakukan penelitian yang berjudul *"Optimum distributed generation placement with voltage sag effect minimization".* Dalam penelitiannya untuk menentukan lokasi yang optimal DG yang akan dipasang pada jaringan distribusi menggunakan algoritma Genetic Algorithm (GA). Hasil pengujian algoritma yang diterapkan pada 34 bus radial, 30 bus loop, dan 14 bus system IEEE menunjukan algoritma dapat menemukan lokasi optimal DG. Sehingga dapat mengurangi rugi daya, meningkatkan profil tegangan dan dan menekan biaya perawatan. Namun, metode yang digunakan pada kondisi real time terbatas pada salusi acak dan kurangnya kecepatan konvergensi dalam upaya optimasi.
2. (Mahesh *et al.*, 2017) melakukan penelitian dengan judul *"Optimal placement and sizing of distributed generators for voltage- dependent load model in radial distribution system".* Dalam penelitian tersebut, algortitma

yang digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi ialah *Particle Swarm Optimization* (PSO). Algoritma di uji pada test feeder 33 bus jaringan distribusi IEEE dengan kondisi beban yang berbeda. Peningkatan permintaan beban juga dimodelkan dalam kurun waktu 4 tahun, untuk beban diawal tahun dan tigan tahun kedepan diperhitungkan pertumbuhannya. Hasil pengujian algoritma menunjukan bahwa lokasi yang di tentukan dengan menggunakan algoritma PSO dapat meningkatkan profil tegangan dan mengurangi rugi daya. Dan dipastikan bahwa metode ini dapat diterapkan pada semua jenis beban.

3. (Kazeem & Alor, 2017) melakukan penelitian dengan judul *"Optimal placement of Distributed Generation in Power Distribution Systems using Neuro-genetic Algorithm"*. Dalam penelitian tersebut, algoritma yang digunakan merupakan kombinasi dari algoritma Articial Neural Network (ANN) dengan Genetic Algorithm (GA). Algortima kombinasi yang di gunakan bekerja dengan mengoptimalkan besar jaringan dengan menggunakan algoritma genetika dan topologi jaringan saraf tiruan. Hasil pengujian menunjukan bahwa algoritma yang diusulkan dapat menyelesaiakan masalah tunggal dalam menentukan lokasi DG yang akan dipasang untuk mengurangi rugi daya.
4. (Rani *et al.*, 2014) melakukan penelitian dengan judul *"An Invasive Weed Optimization for Loss Reduction in Distribution Systems"*. Dalam penelitian tersebut, metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah jaringan distribusi radial ialah metode aliran daya forward/backward sweep. Untuk mengurangi rugi daya pada jaringan distribusi pada

penelitian ini menggunakan algoritma Invasive Weed optimization untuk menentukan optimal placement untuk memesang DG pada jaringan distribusi radial. Metode ini diuji pada Test Feeder Standard IEEE 33 bus dan 69 bus jaringan distribusi radial. Hadil pengujian algoritma menunjukan bahwa rugi daya aktif secara signifikan berkurang dan profil tegangan jaringan meningkat. Pengurangan rugi daya dan peningkatan profil tegangan membuat jaringan distribusi bekerja secara optimal dan meningkatakan kualitas daya pada jaringan distibusi.

2.2 Distributed Generation

Ackermann & Ackermann (2001) menjelaskan bahwa Distribution Generation adalah pembangkit energy listrik yang terpasang dalam jaringan distribusi pada sisi pelanggan atau jaringan. Pembangkit yang digunakan pada DG umumnya berkapasitas kecil antara 5 kW-5 MW. Distributed generation merupakan pembangkitan energy listrik skala kecil yang lebih fokus pada penggunaan energy terbarukan dan teknologi yang ramah lingkungan seperti PV dan Wind Turbin.

Pepermans *et al* (2005) mendefinisikan bahwa *Distributed Generation* ialah sebuah pembangkit listrik dengan skala kapasitas pembangkitan mencapai 300 MW yang di pasang pada sisi pelanggan. Secara umum para ahli menganggap bahwa DG merupakan pembangkit listrik yang hanya menginjeksikan daya aktif pada jaringan distribusi. Namun, Distributed Generation memiliki banyak jenis dari daya yang di masukan ke dalam jaringan distribusi. (El-Khattam & Salama,

2004) menyebutkan ada beberapa jenis dari Distributed Generation berdasarkan jenis daya yang di hubungkan ke dalam sistem distribusi:

1. Jenis 1

   Distributed Generation yang menginjeksikan hanya daya aktif saja. Contoh dari jenis ini seperti *photovoltaic*, *fuel cells*, *micro turbin* dengan faktor daya sama dengan 1.

2. Jenis 2

   Distributed Generation yang menginjeksikan hanya daya reaktif saja. Contoh dari jenis ini seperti kompensator sinkron.

3. Jenis 3

   Distributed Generation yang menginjeksikan daya aktif dan daya reaktif. Contoh dari jenis ini seperti generator sinkron.

4. Jenis 4

   Distributed Generation yang menginjeksikan daya aktif namun diwaktu yang sama juga menyerap daya reaktif dari sistem. Contoh dari jenis ini seperti generator induksi.

Berikut ini jenis – jenis *Distributed Generation* berdasarkan kapasitasnya [3]:

1. *Micro Distributed Generation*

Distributed Generation yang memiliki range kapasitas daya 1 W – 5 kW.

2. *Small Distributed Generation*

Distributed Generation yang memiliki range kapasitas daya 5 kW – 5 MW.

3. *Medium Distributed Generation*

Distributed Generation yang memiliki range kapasitas daya 5 MW – 50 MW.

4. *Large Distributed Generation*

Distributed Generation yang memiliki range kapasitas daya 50 MW – 300 MW.

2.3 Sistem Per Unit (p.u)

Pada analisis sistem tenaga listrik, penggunaan dari sistem per unit lenih banyak digunakan dibandingkan dengan sistem *ohmic*. Sistem per unit berguna untuk memudahkan perhitungan proses analisis aliran daya pada sistem tenaga. Berikut keuntungan-keuntungan dari sistem per unit:

1. Dapat mengurangi penggunaan dari $\sqrt{3}$ saat perhitungan 3 fasa.
2. Dapat memudahkan dalam komputasi digital.
3. Dengan menggunakan tegangan *base* yang sesuai maka dapat memudahkan dalam menyelesaikan rangkaian dengan beberapa transformator.
4. Pada peralatan sistem tenaga memiliki banyak variasi dalam ukuran, rugi-rugi, dan tegangan. Pada peralatan dengan jenis umum yang sama, tegangan dan rugi-rugi per unit akan berada pada orde yang sama meskipun ukuran besaran fisiknya sangat berbeda.

Secara umum persamaan dari sistem per unit di tunjukan sebagai berikut:

$$per\ unit = \frac{nilai\ sebenarnya(dalam\ satuan\ tertentu)}{nilai\ base\ atau\ acuan(dalam\ satuan\ yang\ sama\ dengan\ nilai\ sebenarnya)}$$

Untuk mendapatkan nilai dari impedansi per unit (Zpu) berdasarkan tegangan base (Vb), arus base (Ib), dan daya base (Sb) dapat menggunakan persamaan – persamaan berikut:

$$\mathrm{I}_b = \frac{Sb}{Vb}$$

$$Z_b = \frac{Vb}{Ib} = \frac{Vb}{\left(\frac{Sb}{Vb}\right)} = \frac{Vb^{\,2}}{Sb}$$

$$\mathrm{S}_{pu} = \frac{S}{Sb}$$

$$V_{pu} = \frac{V}{Vb}$$

$$\mathrm{I}_{pu} = \frac{I}{Ib}$$

$$\mathrm{Z}_{pu} = \frac{Z}{Zb}$$

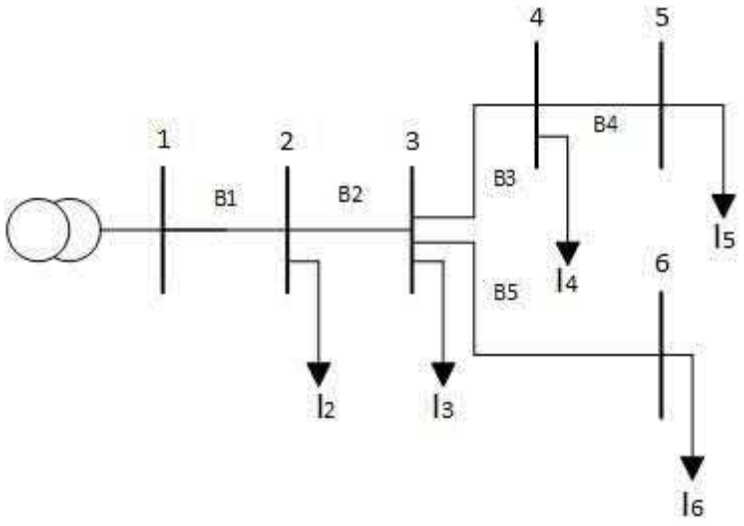
Pada sistem 3 fasa untuk memperoleh arus base (Ib) dapat digunakan persamaan berikut:

$$\mathrm{I}_b = \frac{Sb}{\sqrt{3Vb}}$$

2.4 Metode Aliran Daya *Forward/Backward Sweep*

Dalam sistem tenaga listrik komponen distribusi merupakan bagian yang penting karena paling dekat dengan pelanggan atau beban. Secara umum konfigurasi yang digunakan pada sistem distribusi listrik adalah radial karena lebih sederhana dan biaya investasi lebih murah dibanding dengan jenis yang lain. Analisi aliran daya sangat penting dilakukan sebelum melakukan operasi sistem, optimasi, dan kontrol. Sudah banyak metode – metode yang ditemukan untuk menyelesaikan aliran daya seperti metode gauss seidel, newton raphson, dan *fast decouple*. Metode penyelesaian aliran daya seperti di atas biasanya digunakan untuk menyelesaikan aliran daya pada sistem transmisi namun kurang efektif untuk menyelesaikan aliran daya pada sistem distribusi. Hal tersebut dikarenakan pada sistem distribusi memiliki perbedaan karakteristik dengan sistem transmisi seperti struktur radial dan tingginya rasio antara resistansi dan reaktansi (R/X) [1].

(Rupa & Ganesh, 2014) mengatakan bahwa metode *Backward/Forward Sweep* merupakan metode aliran daya yang efisien untuk meunguji aliran daya pada jaringan distribusi bertipe radial karena rendahnya hubungan antar saluran. Dengan menggunakan metode ini analisa aliran daya yang dilakukan akan terealisasi tanpa banyak perhitungan dan efisien untuk setiap iterasinya.



Gambar 2.1 gambar diagram *one line* sistem distribusi

Metode aliran *Backward/ Forward Sweep* ini dibagi menjadi dua tahap perhitungan yaitu tahap *backward sweep* dan *forward sweep*. Pada tahap *backward sweep* yang dilakukan adalah mencari arus pada setiap saluran dimulai dari bus terakhir menuju ke bus sumber atau slack bus sedangkan untuk *forward sweep* adalah mencari tegangan pada setiap bus dimulai dari slack bus menuju ke bus terakhir.

1. Backward Sweep

Untuk mencari arus pada setiap beban dapat menggunakan hubungan dari daya kompleks dengan tegangan pada setiap bus seperti persamaan berikut:

$$Ii = \frac{P_i + jQ_i}{V_i}$$

Dimana,

Ii : arus beban pada bus i

$P_i + Q_i$: kebutuhan daya kompleks pada bus i

Vi : tegangan pada bus i

2. *Forward Sweep*

Untuk mencari tegangan pada setiap bus dapat menggunakan persamaan berikut:

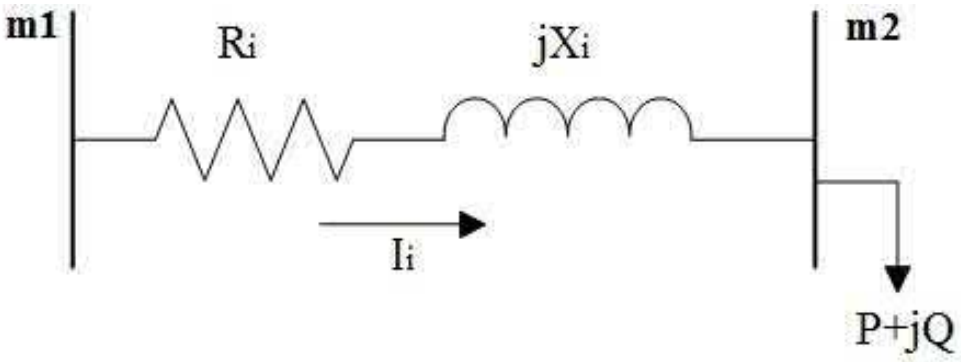
$V_i = V_1 – (R_i+jX_i)$

Dimana,

Vi : tegangan pada bus i

V1 : tegangan pada bus 1

Ri+jXi : impedasi pada saluran i



Gambar 2.2 sampel diagram aliran beban sistem distribusi

2.5 Loss Power / Rugi Daya

Bhatti *et al* (2015) menyebutkan bahwa rugi daya terjadi pada proses transmisi dan distribusi. kerugian yang paling besar ialah saat proses distribusi listrik diperkirakan mencapai 50 % daya yang hilang pada jaringan distribusi.

Dalam teori listrik arus bolak-balik penjumlahan daya dilakukan secara vektoris, yang bentuk vektornya merupakan segitiga siku-siku, yang dikenal dengan segitiga daya. Sudut merupakan sudut pergeseran fasa, semakin besar sudutnya, semakin besar Daya Semu (S), dan semakin besar pula Daya Reaktif (Q), sehingga faktor dayanya (cos)semakin kecil. Perbandingan antara besar daya aktif dengan daya semu disebut faktor daya (cos), adalah sudut yang dibentuk antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya ini terjadi karena adanya pergeseran fasa yang disebabkan oleh adanya beban induktif/kumparan dan atau beban kapasitif. Daya reaktif adalah daya yang hilang, atau daya rugi-rugi sehingga semakin besar sudutnya atau semakin kecil faktor dayanya maka rugi-ruginya semakin besar.

pf (cos) = *P* (*Watt*) / *S* (*VA*)

Seperti diketahui, kerugian daya suatu saluran merupakan perkalian arus pangkat dua dengan resistansi atau reaktansi dari saluran tersebut. Rugi – rugi dapat dinyatakan sebagai berikut :

- Rugi daya nyata = I^2 . R Watt
- Rugi daya reaktif = I^2 . X Watt
- Rugi daya semu = $= \sqrt{(I^2R)^2} + (I^2X)^2$

Beban sistem bervariasi dan besarnya berubah-ubah sepanjang waktu. Bila beban meningkat maka tegangan diujung penerimaan menurun dan sebaliknya bila beban berkurang maka tegangan di ujung penerimaan naik. Faktor lain yang ikut mempengaruhi perubahan tegangan sistem adalah rugi daya yang disebabkan oleh adanya impedansi seri penghantar saluran, rugi daya ini menyebabkan jatuh tegangan. Oleh karena itu konsumen yang letaknya jauh dari titik pelayanan akan

cenderung menerima tegangan relatif lebih rendah, bila dibandingkan dengan tegangan yang diterima konsumen yang letaknya dekat dengan pusat pelayanan. Perubahan tegangan pada dasarnya disebabkan oleh adanya hubungan antara tegangan dan daya reaktif. Jatuh tegangan dalam penghantar sebanding dengan daya reaktif yang mengalir dalam penghantar tersebut. Berdasarkan hubungan ini maka tegangan dapat diperbaiki dengan mengatur aliran daya reaktif.

Rugi daya transmisi dan distribusi dibagi menjadi 2 kategori yaitu kerugian secar teknis dan kerugian non teknis.

1. Rugi Daya Teknis

   Kerugian daya secara teknis disebabkan karena kapasitor yang tidak teratur, peralatan yang digunakan pada jaringan transmisi, sub trnasmisi, dan jarinagn distribusi dan rugi magnetic pada transformator.

   Secara umum rugi secara teknik sekitar 22.5% tergantung pada karakteristik jaringan dan mode operasi. Rugi daya teknis di bagi 2 yaitu:

   a) Rugi daya permanen/tetap

      Rugi daya tetap sudah pasti terjadi pada saat proses transmisi dan distribusi listrik. Antar 1/4 dan 1/3 rugi daya teknis pada jaringan distribusi adalah kerugian tetap. Hal ini disebabkan oleh:

      1. Rugi Corona
      2. Rugi Arus Bocor
      3. Rugi Dielektrik
      4. Rugi Open-circuit
      5. Rugi yang disebabkan peralatan ukur
      6. Rugi yang disebabkan kontrol system

b) Rugi daya variable/tak tetap

Rugi daya yang tat tetap diperhitungkan secara teliti dan lebih akurat. Peningkatan beban seksiaonal akan mengakibatkan penurunan tegangan.

2. Rugi Daya Non Teknis

Rugi daya yang diakibatkan bukan dari system energy listrik melainkan factor yang tidak dapat diperkirakan seperti bencana alam, pencurian energy listrik dan kerusakan alat.

2.6 Invasive Weed Optimization

(Rani *et al.*, 2014) menyebutkan bahwa algoritma Invasive Weed Optimization pertama dirancang dan dikembangkan oleh Lucas dan Mehrabian, algoritma optimasi stochastic numeric yang relative baru terinspirasi dari kolonisasi invasive gulma / rumput liar. Algoritma ini sederhana tetapi telah terbukti secara efektif dalam menentukan solusi optimal dengan menggunakan sidat dasar, misalnya pembenihan, pertumbuhan dan persaingan di koloni gulma. Dalam ruang pencarian D-dimensi, sebuah gulma menjadi solusi potensial yang diwakili oleh W = (w1,w2,…,wm). Pertama gulma populasi tanaman M diinisialisasi dengan pertumbuhan acak dan kemudian gulma akan menghasilkan benih tergantung pada kebugarannya dan kebugaran terendah koloni dan kebugaran tertinggi untuk mensimulasikan kelangsungan hidup alami dari proses yang paling sesuai. Jumlah biji setiap tanaman akan meningkat secara linier dan kemungkinan produksi benih semaikn kecil. Benih yang dihasilkan kemudian didistribusikan secara acak pada daerah pencarian dengan distribusi normal dan

rata-rata sama dengan nol dan parameter varians menurun selama jumlah iterasi yang ditentukan. Model dan simulasi perilaku kolial gulma dalam rangka sebagai algoritma optimsi baru dengan beberapa sifat dasar dari poses kolonisasi disajikan dalam langkah-langkah sebagai berikut:

1. Inisialisai

   Jumlah biji yang terbatas disebarkan pada ruang dimensi D dengan posisi acak(menginisialisasi suatu populasi).

2. Reproduksi

   Setiap benih yang tumbuh menjadi tanaman berbungan dan menghasilkan biji tergantung pada kebugaran (reproduksi). Anggota koloni gulma diperbolehkan untuk menghasilkan biji tergantung pada diri sendiri dan nilai kebugaran terendah dan tertinggi dari koloni, jumlah biji setiap tanaman meningkat secara linier dari kemungkinan miniman hingga maksimumnya. Tanaman akan menghasilkan biji berdasarkan kebugarannya dan nilai kebugarannya akan memastikan bahwa peningkatannya linier. Langkah ini menambhakan sifat yang signifikan ke algoritma pencarian. Dalam algoritma evolusioner individu yang di anggap tidak layak diberikan kesempatan untuk bertahan dan bereproduksi merip mekanisme yang terjadi di alam.

3. Dispersi Spasial

   Benih yang diproduksi secara acak tersebar di daerah pencarian dan tumbuh menjadi tanaman baru (penyebaran spasial): benih yang dihasilkan kemudian di distribusikan secara acak pada dimesi ruang pencarian dengan bilangan acak distribusi normal dengan rata-rata sama dengan noltetapi

edngan variasi yang berbeda. Dengan demikian, benih akan tersebar secara acak sehingga mereka berada didekat tanaman induk. Standar Deviasi (SD) dari fungsi acak berkurang dari nilai awal inisial W hingga akhir W yang didefinisikan. Dalam simulasi, perubahan nonlinier telah menunjukan kinerja yang memuaskan.

$W\ iter = (\frac{iter\max - iter}{iter\ max})^n$ (W awal –W akhir) W akhir

Dimana

Iter max adalah jumalah maksimum iterasi

W iter adalah Standar Deviasi setiap waktu

n adalah indeks modulasi non linier

perubahan tersebut memastikan bahwa kemungkinan menjatuhkan benih didaerah jauh menurun secara non linier pada setiap waktu.

4. Pengecualian Kompetitif

Pada tahap ini jumlah maskimum tanaman dicapai dengan reproduksi cepat. Hanya tanaman dengan tingkat kebugaran yang lebih tinggi yang dapat bertahan hidup dengan menghasilkan biji, sedangkan yang lain di eliminasi (pengecualian kompetitif). Dalam proses ini jumlah gulma maksimum dalam akoloni tercapai, setiap gulma diizinkan untuk menghasilkan niji, menyebarkannya ke area pencarian dan menentukan posisi dan urutan mereka bersama induk benih. Selanjutnya gulma dengan nilai kebugaran lebih rendah dihilangkan untuk mencapai populasi maksimum yang di ijinkan dalam koloni. Pada tahap ini akan berulang hingga tahap iterasi berakhir dan mencapai solusi paling optimal.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah di lakukan dan dibahas pada bab sebelumnya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Ukuran dan lokasi DG yang ditentukan dari hasil simulasi menggunakan Algoritma *Invasive Weed Optimization* di pasang pada 3 bus. Nilai yang diperoleh untuk ukuran masing-masing bus sebesar 873.87 kW, 1310.80 kW , dan 1747.74 kW dalam semua jenis beban. Kemudian penentuan lokasi DG yang akan dipasang pada bus sesuai dengan jenis beban yang digunakan. Dari pemasangan *Distributed Generation* pada jaringan distribusi 33 bus menunjukan perbaikan profil tegangan dan dapat menurunkan rugi daya sebesar 68.2 % dari total rugi daya aktif sebesar 413.46 kW menjadi 131.18 kW pada beban *Constan Power.*
2. Hasil pengujian kemampuan algoritma terhadap masalah optimasi menunjukan bahwa IWO dapat menentukan lokasi dan ukuran DG terbaik. Hal ini dibuktikan dengan menurunkan rugi daya 413.46 kW menjadi 131.18 kW. Dibandingkan dengan algoritme lain pada kasus yang sama seperti GA menurunkan rugi daya sebesar 49.61 % , PSO sebesar 50.06 %, GA/PSO sebesar 50.99 %, dan BFOA sebesar 57.83% setelah menentukan lokasi dan ukuran optima DG yang dipasang pada jaringan distribusi 33 bus. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa algoritma *Invasive Weed Optimization* bekerja lebih baik di banding algoritme

pembanding yang digunakan karena memiliki kemampuan yang lebih baik dalam segi optimasi, waktu komputasi, dan kecepatan konvergensi solusi acak.

5.2 Saran

Pada penelitian ini penulis memberikan saran guna penelitian selanjutnya dalam bidang yang sama. Saran yang diberikan penulis adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini hanya fokus pada lokasi dan ukuran DG yang akan di pasang pada jaringan distribusi radial 33 bus, untuk penelitian selanjutnya dapat di kembangkan pada jumlah bus yang lebih besar dan data asli di lapangan.
2. Guna mengetahui performa algoritme optimasi yang digunakan disarankan di uji pada kasus yang berbeda dan di bandingkan dengan algoritme optimasi lain.

DAFTAR PUSTAKA

Abdelaziz, A.Y., Ali, E.S. & Elazim, S.M.A. 2016. Electrical Power and Energy Systems Flower Pollination Algorithm and Loss Sensitivity Factors for optimal sizing and placement of capacitors in radial distribution systems. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL POWER AND ENERGY SYSTEMS*, 78: 207–214. Tersedia di http://dx.doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.11.059.

Abou El-Ela, A.A., Allam, S.M. & Shatla, M.M. 2010. Maximal optimal benefits of distributed generation using genetic algorithms. *Electric Power Systems Research*, 80(7): 869–877. Tersedia di http://dx.doi.org/10.1016/j.epsr.2009.12.021.

Ackermann, T. & Ackermann, T. 2001. Distributed Generation : A Definition Distributed generation : a definition. 7796(August 2016): 195–204.

Aman, M.M., Jasmon, G.B., Bakar, A.H.A. & Mokhlis, H. 2014. A new approach for optimum simultaneous multi-DG distributed generation Units placement and sizing based on maximization of system loadability using HPSO (hybrid particle swarm optimization) algorithm. *Energy*, 66: 202–215. Tersedia di http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.12.037.

Anonim, 2009. Multiobjective optimization for DG planning with load models. *IEEE Transactions on Power Systems*, 24(1): 427–436.

Badran, O., Mekhilef, S., Mokhlis, H. & Dahalan, W. 2017. Optimal reconfiguration of distribution system connected with distributed generations: A review of different methodologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73(February): 854–867.

Baran, M.E. & Wu, F.F. 1989. Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing. *Power Delivery, IEEE Transactions on*, 4(2): 1401–1407.

Bhatti, S.S., Umair, E.M., Lodhi, U. & Haq, S. 2015. Electric-Power-Transmission-and-Distribution-Losses-Overview-and-Minimization-in-Pakistan.docx. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(4): 1108–1112.

Bhumkittipich, K. & Phuangpornpitak, W. 2013. Optimal placement and sizing of distributed generation for power loss reduction using particle swarm optimization. *Energy Procedia*, 34: 307–317. Tersedia di http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.759.

Biswas, S., Goswami, S.K. & Chatterjee, A. 2012. Optimum distributed

generation placement with voltage sag effect minimization. *Energy Conversion and Management*, 53(1): 163–174. Tersedia di http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2011.08.020.

Chaithra, C. & Padmaja, K. 2015. Optimum Placement of D-STATCOM using Firefly Algorithm for Enhancing Power Quality. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 4(6): 20–24.

Das, P. & Banerjee, S. 2014. Optimal Sizing And Placement Of Capacitor In A Radial Distribution System Using Loss Sensitivity Factor And Firefly Algorithm . 3(4): 5346–5352.

Devi, S. & Geethanjali, M. 2014. Application of Modified Bacterial Foraging Optimization algorithm for optimal placement and sizing of Distributed Generation. *Expert Systems with Applications*, 41(6): 2772–2781. Tersedia di http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2013.10.010.

El-Khattam, W. & Salama, M.M.A. 2004. Distributed generation technologies, definitions and benefits. *Electric Power Systems Research*, 71(2): 119–128.

El-Zonkoly, A.M. 2011. Optimal placement of multi-distributed generation units including different load models using particle swarm optimisation. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 5(7): 760. Tersedia di http://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-gtd.2010.0676.

Kazeem, B. & Alor, M. 2017. distribution systems using Neuro-genetic Algorithm. 898–904.

Kroposki, B., Sen, P.K. & Malmedal, K. 2013. Optimum sizing and placement of distributed and renewable energy sources in electric power distribution systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 49(6): 2741–2752.

Mahesh, K., Nallagownden, P. & Elamvazuthi, I. 2017. Optimal placement and sizing of distributed generators for voltage-dependent load model in radial distribution system. *Renewable Energy Focus*, 19–20(00): 23–37. Tersedia di http://dx.doi.org/10.1016/j.ref.2017.05.003.

Mahmood, M., Shivam, O., Kumar, P. & Krishnan, G. 2014. Real Time Study on Technical Losses in Distribution System. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 3(1): 131–137.

Mehrabian, A.R. & Lucas, C. 2006. A novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization. 1.

Mohamed, I.A. & Kowsalya, M. 2014. Optimal size and siting of multiple distributed generators in distribution system using bacterial foraging optimization. *Swarm and Evolutionary Computation*, 15: 58–65. Tersedia di http://dx.doi.org/10.1016/j.swevo.2013.12.001.

Pandey, D. & Bhadoriya, J.S. 2014. Optimal Placement & Sizing Of Distributed Generation (DG) To Minimize Active Power Loss Using Particle Swarm Optimization (PSO). *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 3(7): 246–254.

Pepermans, G., Driesen, J., Haeseldonckx, D., Belmans, R. & D'haeseleer, W. 2005. Distributed generation: Definition, benefits and issues. *Energy Policy*, 33(6): 787–798.

Rama Prabha, D. & Jayabarathi, T. 2016. Optimal placement and sizing of multiple distributed generating units in distribution networks by invasive weed optimization algorithm. *Ain Shams Engineering Journal*, 7(2): 683–694. Tersedia di http://dx.doi.org/10.1016/j.asej.2015.05.014.

Rani, D.S., Subrahmanyam, N. & Sydulu, M. 2014. An Invasive Weed Optimization for loss reduction in distribution systems. *Proceeding of the IEEE International Conference on Green Computing, Communication and Electrical Engineering, ICGCCEE 2014*.

Rao, P. & Raju, S. 2011. Voltage regulator placement in radial distribution system using plant growth simulation algorithm. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 2(6): 207–217. Tersedia di http://www.ajol.info/index.php/ijest/article/view/63712.

Rupa, J. a M. & Ganesh, S. 2014. Power Flow Analysis for Radial Distribution System Using Backward / Forward Sweep Method. *International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*, 8(10): 1537–1541.

Singh, B., Mukherjee, V. & Tiwari, P. 2017. GA-based multi-objective optimization for distributed generations planning with DLMs in distribution power systems. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 4(1): 62–94. Tersedia di http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2314717216300939.

Uniyal, A. & Kumar, A. 2018. Optimal Distributed Generation Placement with Multiple Objectives Considering Probabilistic Load. *Procedia Computer Science*, 125(2017): 382–388. Tersedia di https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.12.050.

Zheng, Z. xin & Li, J. qing 2018. Optimal chiller loading by improved invasive weed optimization algorithm for reducing energy consumption. *Energy and Buildings*, 161: 80–88. Tersedia di http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.12.020.

Zongo, O.A. & Oonsivilai, A. 2017. Optimal placement of distributed generator for power loss minimization and voltage stability improvement. *Energy Procedia*, 138: 134–139. Tersedia di https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.080.