

**OPTIMASI KAPASITAS DAN PENEMPATAN *DISTRIBUTED*
GENERATION PADA SISTEM DISTRIBUSI (STUDI KASUS
PENYULANG NILA GI METRO)**

(Skripsi)

Oleh

AWANSAH



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2018

ABSTRAK

OPTIMASI KAPASITAS DAN PENEMPATAN *DISTRIBUTED GENERATION* PADA SISTEM DISTRIBUSI (STUDI KASUS PENYULANG NILA GI METRO)

Oleh

AWANSAH

Pemasangan *distributed generation* (DG) merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi rugi-rugi daya pada sistem distribusi. Namun, tidak optimalnya kapasitas dan penempatan DG akan menaikkan rugi – rugi daya dan memburuknya profil tegangan dan stabilitas tegangan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kapasitas dan penempatan yang optimal dari DG untuk mengurangi rugi-rugi daya aktif serta memperbaiki profil tegangan dan meningkatkan indeks stabilitas tegangan. Studi kasus yang digunakan adalah IEEE 33 bus dan penyulang Nila di gardu induk Metro. Hasil simulasi menunjukkan untuk IEEE 33 bus, kapasitas optimal DG tipe 1 adalah 2490.18 kW dan tipe 3 adalah 3013.68 kVA dengan penempatan optimal kedua tipe DG tersebut yaitu pada bus 6. Pada penyulang Nila, kapasitas optimal DG tipe 1 adalah 4406.92 kW ditempatkan di bus 20 dan kapasitas optimal DG tipe 3 adalah 5110.54 kVA ditempatkan di bus 22. Setelah pemasangan DG, menunjukkan bahwa ada pengurangan rugi – rugi daya aktif dan meningkatkan profil tegangan dan indeks stabilitas tegangan dibandingkan sebelum pemasangan DG.

Kata Kunci: *Distributed Generation*, optimasi, kapasitas, penempatan

ABSTRACT

OPTIMIZATION SIZING AND PLACEMENT OF DISTRIBUTED GENERATION IN THE DISTRIBUTION SYSTEM (CASE STUDY AT NILA FEEDER IN METRO SUBSTATION)

BY

AWANSAH

Installation of distributed generation (DG) is one of the alternatives to reduce power losses in the distribution system. However, the non-optimal sizing and placement of DG will increase power losses and deteriorates voltage profile and voltage stability. The proposed of this research is to determine the optimal sizing and placement of DG to reduce active power losses and improve voltage profile and voltage stability index. The case study is IEEE 33 bus and nila feeder in metro substation. The results show for IEEE 33 bus, the optimal size of DG type 1 is 2490.18 kW and type 3 is 3013.68 kVA, with optimal placement for both types of DG is on bus 6. For Nila feeder, the optimal size of DG type 1 is 4406.92 kW placed on bus 20 and the optimal size of DG type 3 is 5110.54 kVA placed on bus 22. After the installation of DG, it show that there are reduction in active power losses and increase voltage profile and voltage stability index in each case compared to before installation of DG.

Keywords: Distributed Generation, optimization, size, placement

**OPTIMASI KAPASITAS DAN PENEMPATAN *DISTRIBUTED
GENERATION* PADA SISTEM DISTRIBUSI (STUDI KASUS
PENYULANG NILA GI METRO)**

Oleh

Awansah

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

pada

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

**Judul Skripsi : OPTIMASI KAPASITAS DAN PENEMPATAN
DISTRIBUTED GENERATION PADA SISTEM
DISTRIBUSI (STUDI KASUS PENYULANG
NILA GI METRO)**

Nama Mahasiswa : Awansah

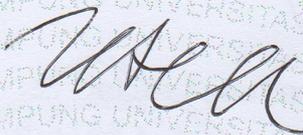
Nomor Pokok Mahasiswa : 1415031026

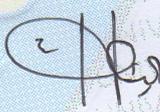
Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

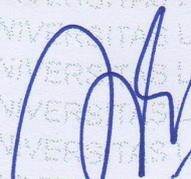
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Osea Zebua, S.T., M.T.
NIP 19700609 199003 1 002


Herri Gusmedi, S.T., M.T.
NIP 19700810 199903 1 003

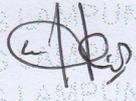
2. Ketua Jurusan Teknik Elektro

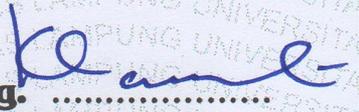

Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP 19731128 199903 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

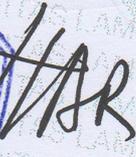
Ketua : Osea Zebua, S.T., M.T. 

Sekretaris : Herri Gusmedi, S.T., M.T. 

**Penguji
Bukan Pembimbing : Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D. Eng.** 

2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D. 

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 24 Mei 2018

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak ada terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 5 Mei 2018



Awansah



RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Pringsewu, pada tanggal 27 Januari 1996, sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara, dari Bapak Sahril dan Ibu Suswanti. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari Taman Kanak-kanak (TK) Aisyah Talang Padang, Talang Padang pada tahun 2001 dan diselesaikan pada tahun 2002, Sekolah Dasar Negeri (SDN) 1 Patoman, Pagelaran pada tahun 2002 dan diselesaikan pada tahun 2008, Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 1 Pringsewu dari tahun 2008 dan diselesaikan pada tahun 2011, dan Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 1 Pringsewu, Pringsewu dari tahun 2011 dan diselesaikan pada tahun 2014.

Tahun 2014, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Pada Agustus 2017 penulis melaksanakan kerja praktik di PT. Bukit Asam (Persero), Tbk. Unit Pelabuhan Tarahan, dan membuat laporan tentang “Analisa Monitoring Operasi Generator Unit 2 di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) 2 x 8 MW PT. Bukit Asam (Persero), Tbk. Unit Pelabuhan Tarahan”. Pada 01 November 2017 melaksanakan Penelitian di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung dengan judul yang ada pada penelitian ini.



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

KARYA INI SAYA PERSEMBAHKAN
UNTUK

Ayah dan Ibuku Tercinta

Sahril, S.Pd.

Suswanti, S.Pd.

Serta kakak-kakakku

Erlis Miarti, S.Pd.

Nurhidayah, S.Pd.

Teman-teman kebanggaanku

Rekan-rekan Jurusan Teknik Elektro

Almamaterku

Universitas Lampung

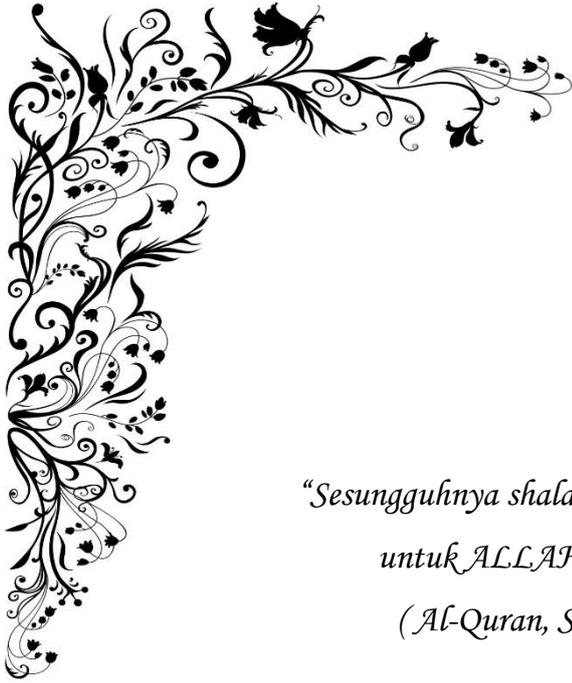
Agamaku

Islam

Bangsa dan Negaraku

Republik Indonesia





MOTTO

*“Sesungguhnya shalatku, hidupku, dan matiku hanyalah
untuk ALLAH S.W.T, tuhan semesta alam”*

(Al-Quran, Surat Al – An’am, ayat 162)

*“Mudahkan orang lain, maka ALLAH S.W.T akan
mudahkan urusan kita“*

(H.R. Muslim)

*“Orang yang menunjukkan suatu kebaikan, pahalanya sama
Seperti orang yang mengerjakannya”*

(H.R. Tirmidzi)

*“Dibenci adalah sesuatu yang harus anda persiapkan sejak dini. Kadang
kebaikan menimbulkan kebencian. Tugas kita untuk bermanfaat untuk
sesama. Tapi untuk menyenangkan seluruh orang di sekitar kita,*

jangan bercanda!”

(Lanang Manggala)



SANWACANA

Alhamdulillahirobbil'alamiin, penulis memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir ini.

Tugas akhir dengan judul **“OPTIMASI KAPASITAS DAN PENEMPATAN *DISTRIBUTED GENERATION* PADA SISTEM DISTRIBUSI (STUDI KASUS PENYULANG NILA GI METRO)”** ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam masa perkuliahan dan penelitian, penulis mendapat banyak hal baik berupa dukungan, semangat, motivasi dan banyak hal yang lainnya. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P. selaku Rektor Universitas Lampung
2. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
3. Bapak Dr. Ing Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung.
4. Bapak Osea Zebua, S.T., M.T. selaku pembimbing utama skripsi yang telah dengan sabar membimbing, memberikan ilmunya, motivasi dalam hidup dan arahnya di sela-sela kesibukan beliau yang sangat padat.

5. Bapak Herri Gusmedi, S.T., M.T. selaku pembimbing pendamping yang telah membimbing, memberi ilmunya, cerita inspiratif, arahan spiritual serta sarannya dalam individu menyusun penelitian ini.
6. Bapak Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji skripsi yang telah memberikan saran, krikritikan yang sangat membangun dalam penyusunan skripsi.
7. Bapak Ir. Abdul Haris, M.T. selaku dosen Pembimbing Akademik (PA) yang telah memberikan motivasi dan arahan agar menjadi mahasiswa yang lebih baik sejak dari awal semester sampai sekarang.
8. Segenap dosen dan pegawai di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu dan wawasan yang tak terlupakan oleh penulis.
9. Ayah dan ibu tercinta, Sahril, S.Pd. dan Suswanti, S.Pd. yang tiada terkira jasa yang kalian berikan, hanya doa dan sedikit usaha meraih prestasi sekarang dan kedepannya serta menyelesaikan kewajiban agar terpancar senyum bangga di wajah kalian yang sangan saya impikan.
10. Kakak-kakak, Erlis Miarti, S.Pd. dan Nurhidayah, S.Pd. yang selama ini telah memberikan kasih sayang, semangat, doa, nasihat serta dukungan dalam segala aspek agar selalu istiqomah dalam menuntut ilmu.
11. Amirudin, Sri Handayani, Bagus Sugiarto, Arif Surya, Astri Nurdin, Essy Pratiwi, S.Si., Fatimah, dan Mentari yang telah menemani hari – hari yang penuh manfaat dengan menuntut saya menjadi individu yang lebih dewasa selama Kerja Praktik di PT. Bukit Asam dan KKN di desa Sridadi.

12. Teman satu dosen pembimbing tugas akhir Christoper Prayogo, Ega Primantara, dan kak Fikri yang menyempatkan waktunya untuk berdiskusi dengan penulis.
13. M. Mas Ruri, Adam Rabbani, Dewi Rani, Dona Roza, dan teman-teman keluarga besar Elektro Angkatan 2014 terimakasih atas segala yang telah diberikan.
14. Teman-teman keluarga besar Yokohama Dorm terimakasih telah memberikan lingkungan tempat tinggal yang selalu ceria selama 4 tahun ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran konstruktif dari semua pihak demi kemajuan bersama. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 4 Mei 2018
Penulis,

Awansah

DAFTAR ISI

ABSTRAK

HALAMAN JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

SURAT PERNYATAAN

RIWAYAT HIDUP

SANWACANA

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

Halaman

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Rumusan Masalah	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Hipotesis	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	3

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 <i>Distributed Generation</i>	5
2.2 Sistem Per Unit.....	7
2.3 Metode Aliran Daya <i>Forward/Backward Sweep</i>	8

2.4	<i>Voltage Stability Index (VSI)</i>	12
2.5	Optimasi kapasitas dan penempatan <i>Distributed Generation</i>	13
2.5.1	Optimasi Kapasitas <i>Distributed Generation</i>	14
2.5.2	Optimasi Penempatan <i>Distributed Generation</i>	16

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat	17
3.2	Alat dan Bahan	17
3.3	Tahap Pengerjaan Tugas Akhir	18
3.4	Diagram Alir Tugas Akhir.....	20
3.5	Tahap Perhitungan Program	21
3.6	Diagram Alir Program.....	27

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Data Studi Kasus	28
4.1.1	Data Studi Kasus IEEE 33 bus	28
4.1.2	Data Studi Kasus Penyulang Nila GI Metro 111 bus	31
4.2	Hasil Simulasi.....	38
4.2.1	Hasil Simulasi pada Kasus 33 bus	39
4.2.2	Hasil Simulasi pada Kasus Penyulang Nila 111 bus	42
4.3	Analisa Hasil Simulasi	52
4.3.1	Analisa hasil simulasi pada kasus IEEE 33 bus dengan DG Jenis 3.....	52
4.3.2	Analisa Hasil Simulasi Pada Kasus IEEE 33 bus dengan DG Jenis 1.....	56
4.3.3	Analisa Hasil Simulasi Pada Kasus Penyulang Nila 111 bus dengan DG Jenis 3	61
4.3.4	Analisa Hasil Simulasi Pada Kasus Penyulang Nila 111 bus dengan DG Jenis 1	65

4.3.5	Analisa Hasil Simulasi Pada Kasus Penyulang Nila 111 bus dengan DG Jenis 3 Kapasitas 1.9 MVA.....	70
4.3.6	Analisa Hasil Simulasi Pada Kasus Penyulang Nila 111 bus dengan DG Jenis 1 Kapasitas 1.6 MW.....	72
4.3.7	Analisa Hasil Simulasi Pada Kasus Penyulang Nila 111 bus dengan DG Jenis 3 Kapasitas 1 MVA.....	76
4.3.8	Analisa Hasil Simulasi Pada Kasus Penyulang Nila 111 bus dengan DG jenis 1 Kapasitas 1 MW.....	78

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	83
5.2	Saran.....	84

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sampel <i>one line diagram</i> sistem distribusi radial 6 bus.....	10
Gambar 2.2. Sampel <i>one line diagram</i> sistem distribusi radial 2 bus.....	13
Gambar 4.1. <i>One line diagram</i> kasus 33 bus	31
Gambar 4.2. <i>One line diagram</i> penyulang Nila 111 bus.....	38
Gambar 4.3. Tegangan tanpa dan dengan DG	52
Gambar 4.4. Indeks Stabilitas Tegangan tanpa dan dengan DG jenis 3 berkapasitas 3013.68 kVA dengan faktor daya 0.8	53
Gambar 4.5 Rugi – rugi Daya Aktif tanpa dan dengan DG jenis 3 kapasitas 3013,68 kVA dengan faktor daya 0.8	54
Gambar 4.6. Tegangan tanpa dan dengan DG jenis 1 kapasitas 2490.18 kW pada bus 6	55
Gambar 4.7. Indeks Stabilitas Tegangan tanpa dan dengan DG jenis 1 berkapasitas 2490.18 kW pada bus 6.....	56
Gambar 4.8. Rugi – rugi Daya Aktif tanpa dan dengan DG jenis 1 berkapasitas 2490.18 kW pada bus 6.....	57
Gambar 4.9. Tegangan tanpa dan dengan DG jenis 3 kapasitas 5110.54 kVA dengan faktor daya 0.8 pada bus 22.....	58
Gambar 4.10 Indeks Stabilitas Tegangan tanpa dan dengan DG jenis 3 kapasitas 5110.54 kVA faktor daya 0.8 pada bus 22.....	59
Gambar 4.11 Rugi – rugi daya aktif tanpa dan dengan DG jenis 3 kapasitas 5110.54 kVA faktor daya 0.8 pada bus 22	60

Gambar 4.12 Tegangan tanpa dan dengan DG jenis 1 kapasitas 4406.92 kW pada bus 20	61
Gambar 4.13 Indeks Stabilitas Tegangan tanpa dan dengan DG jenis 1 kapasitas 4406.92 kW pada bus 20.....	62
Gambar 4.14 Rugi – rugi daya tanpa dan dengan DG jenis 1 kapasitas 4406.92 kW pada bus 20.....	63

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Data beban IEEE 33 bus	29
Tabel 2. Data saluran IEEE 33 bus	30
Tabel 3. Data beban setiap bus di penyulang Nila	32
Tabel 4. Data saluran penyulang Nila	35
Tabel 5. Hasil simulasi sebelum pemasangan DG	39
Tabel 6. Hasil simulasi setelah optimasi kapasitas DG (S_{DG}) type 3 pada setiap bus.....	40
Tabel 7. Hasil simulasi setelah optimasi kapasitas DG (P_{DG}) type 1 pada setiap bus.....	41
Tabel 8. Hasil simulasi sebelum pemasangan DG	43
Tabel 9. Hasil simulasi setelah optimasi kapasitas DG (S_{DG}) type 3 pada setiap bus.....	46
Tabel 10. Hasil simulasi setelah optimasi kapasitas DG (P_{DG}) type 1 pada setiap bus.....	49

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem tenaga listrik secara umum dibagi menjadi tiga komponen utama yaitu sistem pembangkitan, sistem transmisi, dan sistem distribusi. Sistem distribusi (penyulang) merupakan saluran yang menghubungkan gardu induk menuju ke beban atau konsumen. Sebagian besar dari saluran distribusi ber konfigurasi jaringan radial karena merupakan konfigurasi jaringan distribusi yang paling sederhana dan biaya investasi yang paling murah. Permasalahan utama yang biasanya terjadi dari saluran distribusi ini adalah rugi – rugi daya dan jatuh tegangan. Rugi – rugi daya akan menyebabkan kurang efisiennya suatu jaringan sistem tenaga listrik dalam pengiriman dari pembangkit menuju ke beban atau konsumen. Sedangkan jatuh tegangan akan menyebabkan rusaknya peralatan - peralatan listrik yang ada pada konsumen. Oleh karena itu perlu dilakukannya usaha untuk mengatasi hal tersebut. Salah satu solusinya yaitu dengan pemasangan *distributed generation* (DG) pada sistem distribusi.

Distributed Generation (DG) merupakan pembangkit tersebar yang menginjeksikan daya berupa daya aktif, daya aktif-reaktif, atau daya reaktif tergantung jenisnya ke sistem distribusi dengan kapasitas yang lebih kecil dibandingkan pembangkit utama. Tujuan dari pemasangan *Distributed Generation*

(DG) ini adalah untuk mengurangi rugi – rugi daya, memperbaiki profil tegangan, meningkatkan stabilitas tegangan, mengurangi biaya investasi, dan menaikkan keandalan pada sistem distribusi tersebut. Pada pemasangan *Distributed Generation* (DG) sangat penting untuk mengetahui lokasi penempatan dan kapasitas daya yang akan dipasang. Tidak optimalnya penempatan dan kapasitas daya dari *Distributed Generation* (DG) akan mengakibatkan bertambahnya rugi – rugi daya, memburuknya fluktuasi profil tegangan, dan memburuknya stabilitas tegangan dibandingkan sebelumnya. Oleh karena itu diperlukannya optimasi penempatan dan kapasitas daya dari *Distributed Generation* (DG) untuk menghindari hal tersebut serta mendapatkan manfaat yang semaksimalnya.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah

1. Untuk menentukan besarnya kapasitas dan penempatan *Distributed Generation* pada sistem distribusi.
2. Untuk mengetahui pengaruh pemasangan *Distributed Generation* terhadap profil tegangan, indeks stabilitas tegangan, dan rugi – rugi daya total pada sistem distribusi.

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari tugas akhir ini adalah

1. Berapa kapasitas dari *Distributed Generation* yang harus dipasang pada sistem distribusi?
2. Bagaimana menentukan penempatan *Distributed Generation* pada sistem distribusi?

3. Bagaimana pengaruh pemasangan *Distributed Generation* terhadap profil tegangan, indeks stabilitas tegangan, dan rugi – rugi daya total pada sistem distribusi?

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang penulis tentukan dari tugas akhir ini adalah

1. Tidak membahas jumlah *distributed generation* yang digunakan.
2. Tidak membahas analisa gangguan hubung singkat yang terjadi pada saluran.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari tugas akhir ini adalah

1. Memahami tentang aliran daya dengan menggunakan *Forward/Backward Sweep Method*.
2. Menambah informasi dan pemahaman tentang analisa optimasi untuk mengatasi permasalahan rugi – rugi daya, profil tegangan, dan stabilitas tegangan yang terjadi pada sistem tenaga.
3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain dalam menyempurnaan tugas akhir ini.

1.6 Hipotesis

Dengan memilih kapasitas dan penempatan dari *Distributed Generation* yang optimal maka dapat memperbaiki profil tegangan, meningkatkan indeks stabilitas tegangan, dan mengurangi rugi – rugi daya pada sistem distribusi di IEEE 33 bus dan penyulang nila GI Metro PT. PLN (Persero) Area Metro.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini dibagi menjadi lima (5) bab yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang latar belakang, tujuan, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat, hipotesis, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang landasan teori untuk menunjang penyusunan laporan tugas akhir yang diambil dari berbagai sumber seperti buku dan jurnal.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang waktu dan tempat, alat dan bahan, tahap pengerjaan, dan diagram alur pada tugas akhir ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan tentang hasil data dan analisis data yang diperoleh dari tugas akhir ini.

BAB V KESIMPULAN

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil dan analisa data yang mengacu pada tujuan serta saran – saran untuk laporan tugas akhir.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Distributed Generation*

Distributed Generation atau pembangkit tersebar adalah pembangkit - pembangkit dengan kapasitas kecil yang dipasang guna menginjeksikan daya ke sistem distribusi. Fungsi utama dari pemasangan *Distributed Generation* adalah untuk mengurangi rugi – rugi daya pada sistem, memperbaiki profil tegangan, meningkatkan stabilitas tegangan, meningkatkan keamanan sistem, mengurangi biaya investasi untuk pembangunan pembangkit baru, menaikkan keandalan sistem [1].

Preston dan Rasler (2000) mendefinisikan *Distributed Generation* adalah pembangkit tersebar yang memiliki kapasitas mulai dari beberapa kilowatt hingga lebih dari 100 MW. Cardel (2000) mendefinisikan *Distributed Generation* adalah pembangkit tersebar dengan kapasitas pembangkit antara 500 kW dan 1 MW. The Electric Power Research Institute mendefinisikan *Distributed Generation* adalah pembangkit tersebar dengan kapasitas beberapa kilowatt sampai dengan 50 MW [2]. Kebanyakan dari pendapat para ahli diatas, mendefinisikan bahwasannya *Distributed Generation* dimodelkan sebagai pembangkit yang hanya menginjeksikan daya aktif di sistem distribusi. Namun, sekarang ini *Distributed Generation* didefinisikan memiliki banyak jenis dari daya yang diinjeksikan ke

sistem distribusi. Berikut ini jenis – jenis dari *Distributed Generation* berdasarkan daya yang diinjeksikan ke sistem distribusi [1]:

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.

2.2 Sistem Per Unit

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

Berikut keuntungan – keuntungan dari sistem per unit [4]:

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 ditunjukkan sebagai berikut:

$$\text{per unit} = \frac{\text{nilai sebenarnya (dalam satuan tertentu)}}{\text{nilai base atau acuan (dalam satuan yang sama dengan nilai sebenarnya)}} \quad (2.1)$$

Untuk mendapatkan nilai dari impedansi per unit (Z_{pu}) berdasarkan tegangan base (V_b), arus base (I_b), dan daya base (S_b) dapat menggunakan persamaan – persamaan berikut:

$$I_b = \frac{S_b}{V_b} \quad (2.2)$$

$$Z_b = \frac{V_b}{I_b} = \frac{V_b}{\left(\frac{S_b}{V_b}\right)} = \frac{V_b^2}{S_b} \quad (2.3)$$

$$S_{pu} = \frac{S}{S_b} \quad (2.4)$$

$$V_{pu} = \frac{V}{V_b} \quad (2.5)$$

$$I_{pu} = \frac{I}{I_b} \quad (2.6)$$

$$Z_{pu} = \frac{Z}{Z_b} \quad (2.7)$$

Untuk mendapatkan arus base (I_b) pada sistem 3 fasa dapat menggunakan persamaan berikut:

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}V_b} \quad (2.8)$$

2.3 Metode Aliran Daya *Forward/Backward Sweep*

Sistem distribusi merupakan komponen yang penting dalam sistem tenaga listrik karena berada paling dekat dengan sisi beban atau konsumen. Sistem distribusi dengan konfigurasi radial merupakan sistem distribusi yang paling banyak digunakan hal ini karena bentuknya yang sederhana dan biaya investasi yang paling murah dibandingkan konfigurasi jaringan lainnya.

Analisis aliran daya sangat penting untuk 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]. Metode *Forward/Backward Sweep* merupakan metode aliran daya yang efisien untuk digunakan pada sistem distribusi bertipe radial karena rendahnya keterhubungan antara saluran satu dengan lainnya maka persamaan KVL dan KCL dapat secara

langsung dibentuk pada bagian saluran. Dengan menggunakan metode ini analisa aliran daya yang dilakukan akan terselesaikan tanpa banyak perhitungan dan efisien pada setiap iterasinya [5-6].

Metode aliran *Forward/Backward 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 dan tegangan pada setiap bus seperti persamaan berikut:

$$I_i = \frac{P_i + jQ_i}{V_i} \quad (2.9)$$

dimana

I_i : arus beban pada bus i

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

V_i : tegangan pada bus i

2. *Forward Sweep*

Untuk mencari tegangan pada setiap bus dapat menggunakan persamaan berikut:

$$V_i = V_1 - I_i (R_i + jX_i) \quad (2.10)$$

dimana

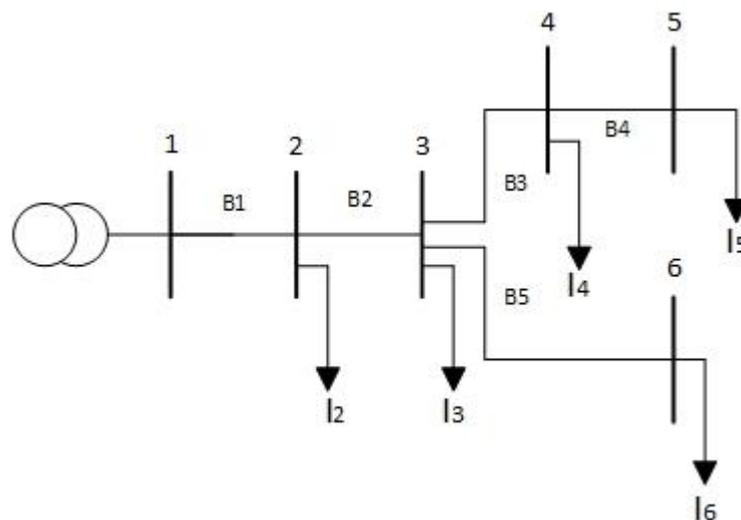
V_i : tegangan pada bus i

V_1 : tegangan pada bus 1

$R_i + jX_i$: impedansi pada saluran i

3. Pembentukan matriks BIBC (*Bus Injection to Branch Current*) dan BCBV (*Branch Current to Bus Voltage*)

Pada penyelesaian aliran daya menggunakan metode *forward/backward sweep*, sebelum melakukan perhitungan diperlukannya membentuk matriks BIBC dan BCBV untuk memudahkan dalam membentuk persamaan dan proses iterasi. Gambar *one line diagram* sistem distribusi radial 6 bus dibawah digunakan sebagai contoh untuk pembentukan matriks BIBC dan BCBV untuk penyelesaian aliran daya menggunakan *forward/backward sweep*.



Gambar 2.1 Sampel *one line diagram* sistem distribusi radial 6 bus

Berdasarkan gambar di atas maka dapat dibentuk matriks BIBC dan BCBV. Dengan mengaplikasikan hukum Kirchhoff I maka didapatkan persamaan untuk setiap arus saluran sebagai berikut:

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (2.11)$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (2.12)$$

$$B_3 = I_4 + I_5 \quad (2.13)$$

$$B_4 = I_5 \quad (2.14)$$

$$B_5 = I_6 \quad (2.15)$$

Dari persamaan (2.11 – 2.15) maka dapat dibentuk matriks BIBC sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Dimana angka 1 menunjukkan adanya hubungan antara arus dan saluran sedangkan angka 0 menunjukkan tidak adanya hubungan antara arus dan saluran. Dari matriks di atas dapat dibentuk persamaan umum sebagai berikut:

$$[B] = [BIBC] [I] \quad (2.17)$$

Selanjutnya membentuk matriks BCBV dengan menggunakan hubungan arus saluran dengan tegangan bus sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$V_2 = V_1 - B_1 Z_{12} \quad (2.18)$$

$$V_3 = V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} \quad (2.19)$$

$$V_4 = V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} - B_3 Z_{34} \quad (2.20)$$

$$V_5 = V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} - B_3 Z_{34} - B_4 Z_{45} \quad (2.21)$$

$$V_6 = V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} - B_5 Z_{36} \quad (2.22)$$

Dari persamaan (2.18 – 2.22) maka dapat dibentuk matriks BCBV sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Dari matriks di atas dapat dibentuk persamaan umum sebagai berikut:

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (2.24)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.17) dan (2.24) maka didapatkan persamaan seperti berikut:

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (2.25)$$

Dengan menggunakan matriks dari BIBC, BCBV, dan ΔV maka tegangan pada setiap bus dapat dicari seperti persamaan berikut:

$$[V_i] = [V_1] - [\Delta V] \quad (2.26)$$

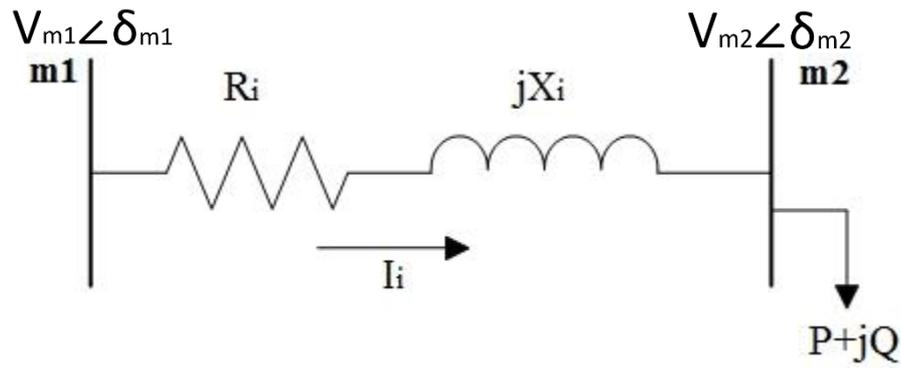
2.4 *Voltage Stability Index (VSI)*

Stabilitas tegangan merupakan suatu kemampuan dari sistem tenaga untuk mempertahankan nilai profil tegangan masing – masing busnya pada tingkat yang dapat diterima saat kondisi normal maupun kondisi setelah terjadi gangguan [7].

Voltage Stability Index (VSI) adalah sebuah indikator yang menunjukkan kestabilan profil tegangan pada masing – masing bus dari sistem distribusi [8].

Ketika suatu sistem distribusi ditempatkan *Distributed Generation* maka seluruh sistem akan berubah termasuk kestabilan profil tegangan pada masing – masing bus. Oleh sebab itu, perlunya mencari nilai *Voltage Stability Index (VSI)* yang menjadi indikator untuk memperlihatkan kestabilan dari profil tegangan pada sistem. Sistem dapat dikatakan aman dan stabil ketika nilai VSI menunjukkan lebih besar dari nol ($VSI > 0$) jika tidak maka sistem dalam keadaan tidak stabil [8].

Untuk mendapatkan nilai VSI, dapat didasarkan oleh aliran daya sistem distribusi pada gambar di bawah ini



Gambar 2.2 Sampel *one line diagram* sistem distribusi radial 2 bus

Persamaan untuk menghitung VSI adalah sebagai berikut:

$$VSI_{i+1} = V_i^4 - 4(P_{i+1} \cdot x_i - Q_{i+1} \cdot R_i)^2 - 4((P_{i+1} \cdot R_i) + (Q_{i+1} \cdot x_i)V_i^2 \quad (2.27)$$

dimana

VSI_{m2} : *Voltage Stability Index* pada bus m2

V_{m1} : tegangan pada bus m1

P_{m2} : total beban daya aktif pada bus m2

X_i : reaktansi pada saluran i

Q_{m2} : total beban daya reaktif pada bus m2

R_i : resistansi pada saluran i

2.5 Optimasi kapasitas dan penempatan *Distributed Generation*

Pemilihan kapasitas dan penempatan dari *Distributed Generation* (DG) adalah hal yang sangat penting untuk dilakukan sebelum dilakukannya pemasangan DG pada sistem distribusi. Tidak optimalnya kapasitas dan penempatan DG ini dapat mengakibatkan bertambahnya rugi – rugi daya, memburuknya profil tegangan,

memburuknya stabilitas tegangan, dan menurunnya keandalan pada sistem distribusi.

Metode optimasi pada tugas akhir ini tidak hanya dapat digunakan untuk mengetahui kapasitas dan penempatan dari jenis DG yang menginjeksikan daya aktif saja namun juga dapat digunakan untuk jenis DG lainnya seperti DG yang menginjeksikan daya aktif dan reaktif, DG yang menginjeksikan daya aktif dan menyerap daya reaktif, serta DG yang menginjeksikan daya reaktif saja.

2.5.1 Optimasi Kapasitas *Distributed Generation*

Rugi – rugi daya aktif total pada sistem tenaga dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.28), yang sering dikenal sebagai *exact loss formula* [9].

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [a_{ij}(P_i P_j + Q_i Q_j) + b_{ij}(Q_i P_j - P_i Q_j)] \quad (2.28)$$

dimana

$$a_{ij} = \frac{r_{ij}}{V_i V_j} \cos(\delta_i - \delta_j), \quad b_{ij} = \frac{r_{ij}}{V_i V_j} \sin(\delta_i - \delta_j)$$

V_i : tegangan pada bus i

$r_{ij} + jx_{ij}$: impedansi saluran

P_i dan P_j : daya aktif pada bus i dan j

Q_i dan Q_j : daya reaktif pada bus i dan j

Daya aktif dan reaktif yang diinjeksikan di bus i dimana DG dipasang dapat dituliskan dengan persamaan berikut ini:

$$P_i = P_{DG_i} - P_{D_i} \quad (2.29)$$

$$Q_i = Q_{DG_i} - Q_{D_i} = (apf \cdot P_{DG_i}) - Q_{D_i} \quad (2.30)$$

dimana

P_{DGi}, Q_{DGi} : daya aktif dan reaktif yang diinjeksikan DG di bus i

apf : $(sign) \tan(\cos^{-1}(PF_{DG}))$

dengan $sign = +1$ untuk DG menginjeksi daya reaktif

$sign = -1$ untuk DG menyerap daya reaktif

P_{Di}, Q_{Di} : beban daya aktif dan reaktif pada bus i

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.29) dan (2.30) ke persamaan (2.28) maka didapatkan rugi – rugi daya aktif dengan DG sebagai berikut:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [a_{ij} \{ (P_{DGi} - P_{Di}) P_j + ((apf \cdot P_{DGi}) - Q_{Di}) Q_j \} + b_{ij} \{ ((apf \cdot P_{DGi}) - Q_{Di}) P_j - (P_{DGi} - P_{Di}) Q_j \}] \quad (2.31)$$

Rugi – rugi daya aktif pada sistem dapat mencapai nilai minimum dengan mendiferensial parsial kan persamaan (2.31) terhadap daya aktif dari DG pada bus i (P_{DGi}) menjadi nol.

$$\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{DGi}} = 2 \sum_{j=1}^N [a_{ij} (P_j + (apf \cdot Q_j)) + b_{ij} ((apf \cdot P_j) - Q_j)] = 0 \quad (2.32)$$

Persamaan (2.32) di atas dapat ditulis juga sebagai berikut:

$$a_{ii} (P_i + (apf \cdot Q_i)) + b_{ii} ((apf \cdot P_i) - Q_i) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (a_{ij} P_j - b_{ij} Q_j) + apf \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (a_{ij} Q_j + b_{ij} P_j) = 0 \quad (2.33)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.29) dan (2.30) ke persamaan (2.33) maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$a_{ii}\{(P_{DG_i} - P_{Di}) + ((apf^2 \cdot P_{DG_i}) - (apf \cdot Q_{Di}))\} + b_{ii}(Q_{Di} - (apf \cdot P_{Di})) + X_i + (apf \cdot Y_i) \quad (2.34)$$

dimana

$$X_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (a_{ij}P_j - b_{ij}Q_j) \text{ dan } Y_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (a_{ij}Q_j + b_{ij}P_j)$$

Dari persamaan (2.34) dapat digunakan untuk menentukan kapasitas optimal dari jenis DG yang berbeda – beda pada setiap bus i untuk meminimalkan rugi – rugi daya dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$P_{DG_i} = \frac{a_{ii}(P_{Di} + (apf \cdot Q_{Di})) + b_{ii}((apf \cdot P_{Di}) - Q_{Di}) - X_i - (apf \cdot Y_i)}{(apf^2 \cdot a_{ii}) + a_{ii}} \quad (2.35)$$

2.5.2 Optimasi Penempatan *Distributed Generation*

Setelah mendapatkan kapasitas optimal dari DG pada setiap busnya menggunakan persamaan (2.35) kemudian mencari perkiraan rugi – rugi daya aktif total dengan menggunakan kapasitas optimal dari DG pada masing – masing bus secara bergantian. Perkiraan rugi – rugi daya untuk setiap kasus dengan menggunakan persamaan (2.28). Bus dengan rugi – rugi daya aktif paling minimum akan dipilih sebagai penempatan optimal dari pemasangan DG.

Dengan menggunakan metode ini dapat menghindari dari perhitungan yang banyak sehingga dapat menghemat waktu terutama untuk sistem distribusi yang besar karena perkiraan rugi – rugi daya dapat dicari dengan koefisien a_{ij} dan b_{ij} dari kasus awal [9].

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Adapun waktu dan tempat dalam penulisan tugas akhir ini adalah

Waktu : Februari 2018 – April 2018

Tempat : Laboratorium Terpadu Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro,
Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada tugas akhir ini adalah

1. Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada tugas akhir ini antara lain:

- Laptop Intel Core i5, prosesor 2.5 GHz dengan sistem operasi windows 10 pro 64 bit sebagai media perancangan simulasi, pengujian simulasi dan pembuatan laporan.
- Perangkat lunak MATLAB R2014a untuk membuat perancangan dan melakukan simulasi.

2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada tugas akhir ini antara lain:

- Data IEEE 33 bus

- Data Penyulang Nila 111 bus

3.3 Tahap Pengerjaan Tugas Akhir

Adapun langkah kerja yang dilakukan untuk menyelesaikan tugas akhir ini adalah

1. Studi Literatur

Studi literatur adalah langkah awal yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini dengan cara mengumpulkan dan mempelajari materi yang terkait dengan pembahasan tugas akhir. Materi ini dapat diperoleh dari sumber – sumber seperti buku, skripsi, jurnal ilmiah, dll.

2. Studi Bimbingan

Untuk menambah wawasan tentang materi dan mengatasi permasalahan pada tugas akhir ini penulis melakukan studi bimbingan dengan cara bertanya dan berdiskusi dengan dosen pembimbing.

3. Pengambilan dan Pengolahan Data

Dalam tugas akhir ini penulis melakukan pengambilan data yang nantinya akan diolah dan dianalisis dengan perangkat lunak. Data yang diambil yaitu

- Data beban puncak di tiap trafo distribusi pada kasus IEEE 33 bus dan penyulang nila 111 bus.
- Data Impedansi.
- *Single Line Diagram* kasus IEEE 33 bus dan penyulang nila 111 bus

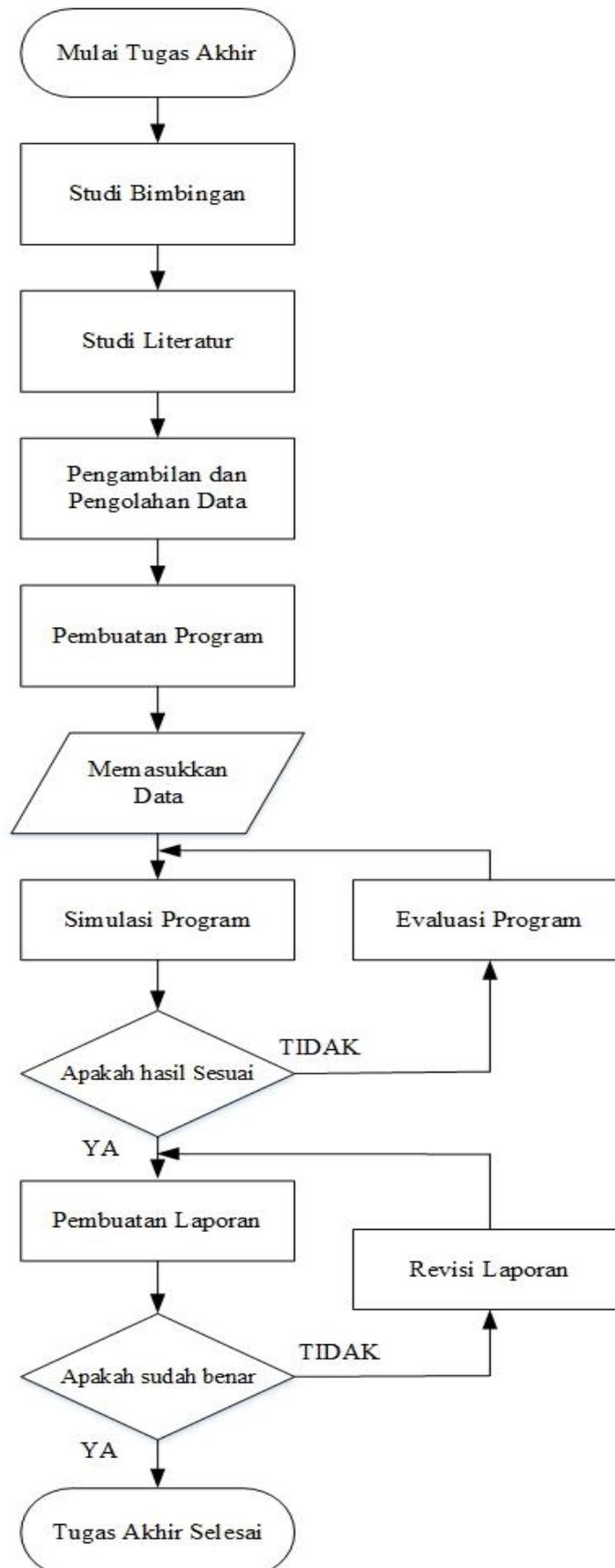
Data – data tersebut kemudian akan diolah menggunakan program yang akan dibuat menggunakan perangkat lunak MATLAB R2014a.

4. Pembuatan Laporan

Pembuatan laporan adalah tahap akhir dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang dimaksudkan sebagai bentuk aktif dan pertanggungjawaban terhadap

penelitian yang telah dilakukan. Laporan ini dibagi menjadi 2 tahap yaitu laporan awal yang digunakan untuk seminar usul dan laporan akhir yang digunakan untuk seminar hasil.

3.4 Diagram Alir Tugas Akhir



3.5 Tahap Perhitungan Program

Langkah – langkah yang akan dilakukan pada tugas akhir ini tentang perhitungan yang ada program yaitu:

1. Memasukkan data yang ada ke dalam proses analisis

Data – data yang akan digunakan yaitu

- a. Data beban berupa daya aktif (P) dalam kW dan daya reaktif (Q) dalam kVAR untuk setiap bus.
- b. Data Saluran berupa resistansi (R) dalam ohm dan reaktansi (X) dalam ohm untuk setiap bus.

2. Membentuk matriks BIBC dan BCBV

Dalam perhitungan aliran daya dengan menggunakan metode *forward/backward sweep* tidak memerlukan matriks admitansi seperti metode newton raphson dan *fast decouple* namun untuk mempermudah membuat persamaan maka perlu dibuat matriks BIBC (*Bus Injection to Branch Current*) dan BCBV (*Branch Current to Bus Voltage*).

$$[B] = [BIBC] [I]$$

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_{n+1} \end{bmatrix}$$

Dimana n adalah nomor bus, angka 1 menunjukkan adanya hubungan antara arus dan saluran sedangkan angka 0 menunjukkan tidak adanya hubungan antara arus dan saluran.

$$[\Delta V] = [BCBV][B]$$

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_{n-1} \end{bmatrix}$$

3. Set Tegangan Awal Semua Bus 1 pu.
4. Menentukan iterasi $k = 1$
5. Menentukan arus injeksi

Untuk menentukan arus yang mengalir menggunakan *backward sweep* dengan cara menghitung arus dari bus terakhir menuju ke slack bus, ditunjukkan oleh persamaan berikut:

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

I_i : Arus yang mengalir di cabang

$P_i + jQ_i$: Daya injeksi pada bus i

V_i : Tegangan pada bus i

6. Menentukan nilai tegangan pada setiap bus

Untuk menentukan tegangan pada bus menggunakan *forward sweep* dengan cara menghitung tegangan dari slack bus menuju ke bus terakhir, ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$V_i = V_1 - \Delta V$$

dimana

V_i : Tegangan pada bus yang dihitung

V_1 : Tegangan pada bus 1 (slack bus) (1 pu)

ΔV : Jatuh tegangan

7. Cek Konvergen

Jika $|V_i^k - V_i^{k+1}| < 0.0001$ maka melanjutkan ke langkah 7 jika tidak maka kembali ke langkah 4.

8. Mencari nilai *Voltage Stability Indeks* (VSI)

Untuk mencari indeks stabilitas tegangan digunakan indikator VSI sehingga akan didapatkan indeks stabilitas tegangan pada setiap bus untuk kasus awal.

Persamaan yang digunakan untuk mencari nilai VSI adalah sebagai berikut:

$$VSI_{i+1} = V_i^4 - 4(P_{i+1} \cdot x_i - Q_{i+1} \cdot R_i)^2 - 4((P_{i+1} \cdot R_i) + (Q_{i+1} \cdot x_i)V_i^2$$

9. Menentukan Jenis DG

Untuk menentukan jenis DG dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\text{apf} = (\tan(\cos^{-1} x))$$

dimana $x = 1$ adalah DG jenis 1

$$x = 0.8 \text{ adalah DG jenis 3}$$

10. Mencari nilai a_{ij} , b_{ij} , x_i , dan y_i

Untuk mendapatkan nilai a_{ij} , b_{ij} , x_i , dan y_i dapat menggunakan persamaan berikut:

$$a_{ij} = \frac{r_{ij}}{V_i V_j} \cos(\delta_i - \delta_j)$$

$$b_{ij} = \frac{r_{ij}}{V_i V_j} \sin(\delta_i - \delta_j)$$

$$X_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (a_{ij} P_j - b_{ij} Q_j)$$

$$Y_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (a_{ij}Q_j + b_{ij}P_j)$$

11. Mencari Rugi – rugi daya sebelum pemasangan DG

Untuk mendapatkan rugi – rugi daya dapat menggunakan persamaan berikut:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [a_{ij}(P_iP_j + Q_iQ_j) + b_{ij}(Q_iP_j - P_iQ_j)]$$

12. Mencari Kapasitas Optimal DG pada masing – masing Bus

Untuk mendapatkan kapasitas optimal DG pada masing – masing bus dapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$P_{DGi} = \frac{a_{ii}(P_{Di} + (apf \cdot Q_{Di})) + b_{ii}((apf \cdot P_{Di}) - Q_{Di}) - X_i - (apf \cdot Y_i)}{(apf^2 \cdot a_{ii}) + a_{ii}}$$

13. Mencari Penempatan Optimal DG

Tempatkan DG dengan kapasitas optimal yang didapatkan pada tahap 12 pada busnya satu per satu. Hitung perkiraan rugi – rugi daya untuk setiap kasus dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [a_{ij}(P_iP_j + Q_iQ_j) + b_{ij}(Q_iP_j - P_iQ_j)]$$

dengan

$$P_i = P_{DGi} - P_{Di}$$

$$Q_i = Q_{DGi} - Q_{Di} = (apf \times P_{DGi}) - Q_{Di}$$

a_{ij} dan b_{ij} dari kasus awal (hasil perhitungan tahap (10)).

Cari bus yang optimal dimana total rugi – rugi dayanya paling minimum sesuai dengan kapasitas DG optimal pada bus tersebut.

14. Menghitung P dan Q injeksi setelah Setelah Pemasangan DG

Setelah mendapatkan kapasitas (P_{DG} dan Q_{DG}) dan penempatan dari DG yang dipasang maka perlu dicari P dan Q injeksi yang ada saluran dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$P_i = P_{DG} - P_{Di}$$

$$Q_i = Q_{DG} - Q_{Di} = (\text{apf} \times P_{DG}) - Q_{Di}$$

15. Set Tegangan Awal Semua Bus 1 pu.
16. Menentukan iterasi $k = 1$
17. Menentukan arus injeksi setelah pemasangan DG

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

Dimana P_i dan Q_i setelah pemasangan DG (hasil perhitungan tahap (14)).

18. Menentukan nilai tegangan pada setiap bus setelah pemasangan DG

Untuk mendapatkan tegangan pada setiap bus digunakan persamaan berikut ini:

$$V_i = V_1 - \Delta V$$

19. Cek Konvergen

Jika $|V_i^k - V_i^{k+1}| < 0.0001$ maka melanjutkan ke langkah 20 jika tidak maka kembali ke langkah 17.

20. Mencari nilai *Voltage Stability Indeks* (VSI)
21. Mencari nilai a_{ij} dan b_{ij} setelah pemasangan DG

Untuk mendapatkan nilai a_{ij} dan b_{ij} dapat menggunakan persamaan berikut:

$$a_{ij} = \frac{r_{ij}}{V_i V_j} \cos(\delta_i - \delta_j)$$

$$b_{ij} = \frac{r_{ij}}{V_i V_j} \sin(\delta_i - \delta_j)$$

dimana tegangan dan sudut setelah pemasangan DG (hasil perhitungan tahap (18)).

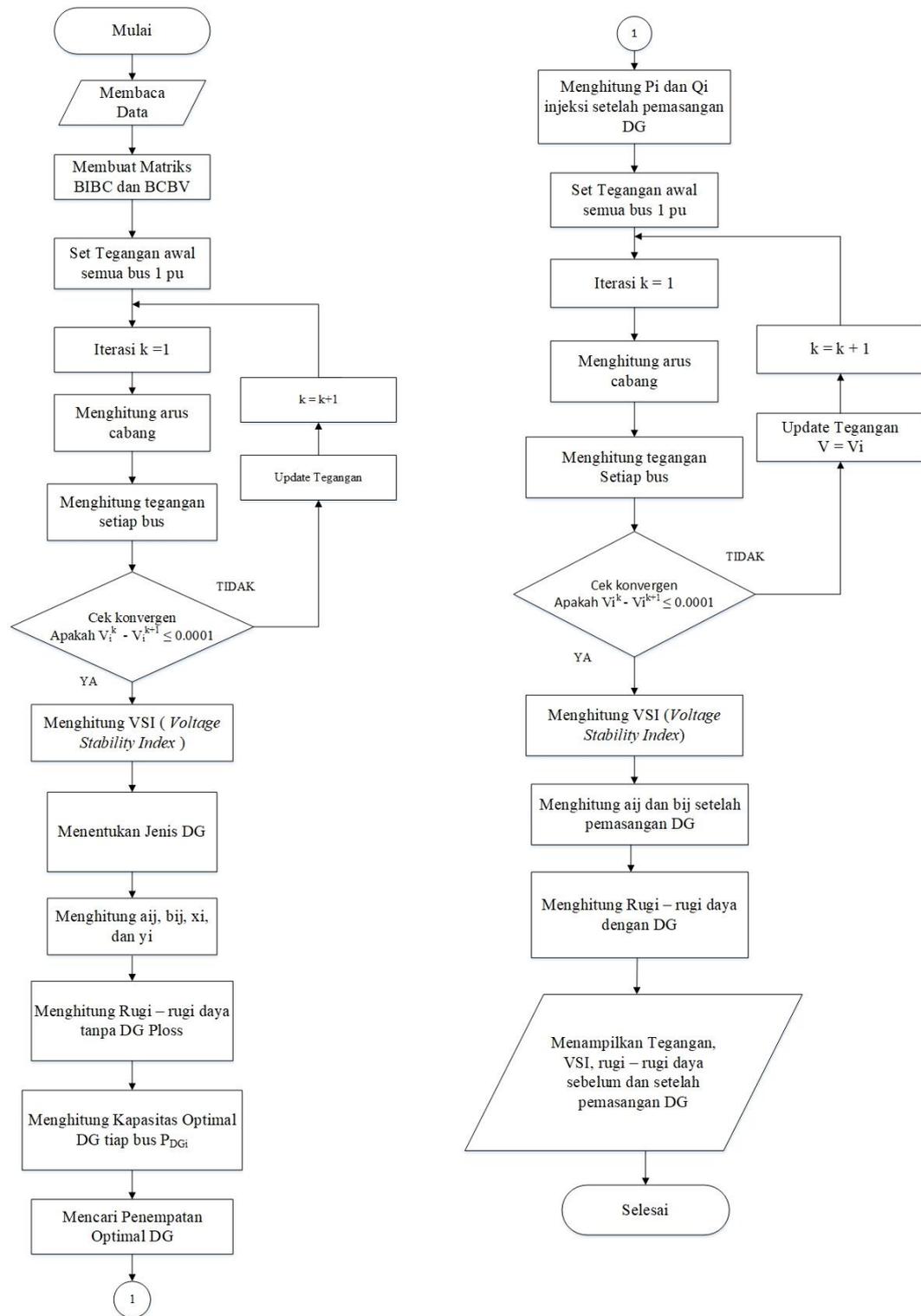
22. Mencari Rugi – rugi daya setelah pemasangan DG

Untuk mendapatkan rugi – rugi daya dapat menggunakan persamaan berikut:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [a_{ij}(P_i P_j + Q_i Q_j) + b_{ij}(Q_i P_j - P_i Q_j)]$$

23. Menampilkan tegangan, VSI dan rugi – rugi daya sebelum dan setelah pemasangan DG.

3.6 Diagram Alir Program



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapat berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Metode yang digunakan dapat menentukan kapasitas dan penempatan optimal dari berbagai jenis DG untuk menurunkan rugi – rugi daya aktif pada sistem distribusi dengan optimal serta dapat memperbaiki profil tegangan dan meningkatkan indeks stabilitas tegangan.
2. Penempatan DG akan mendapatkan hasil yang optimal bila DG diletakkan pada bus 6 dengan kapasitas 3013.68 kVA untuk jenis 3 (PLTD) dan dengan kapasitas 2490.18 kW untuk jenis 1 (PLTS) pada kasus 33 bus, sedangkan pada kasus penyulang Nila diletakkan pada bus 22 dengan kapasitas 5110.54 kVA untuk jenis 3 (PLTD) dan pada bus 20 dengan kapasitas 4406.92 kW untuk jenis 1 (PLTS).
3. Penempatan DG jenis 3 (PLTD) dengan kapasitas 1 MVA dan jenis 1 (PLTS) dengan kapasitas 1 MW akan mendapatkan hasil yang optimal bila DG diletakkan pada bus 60.
4. Metode yang digunakan juga dapat menentukan kapasitas optimal dari berbagai jenis DG pada setiap bus beserta rugi – rugi daya aktif yang dihasilkan.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya selain mencari optimasi kapasitas dan penempatan DG dapat dilakukan juga penambahan untuk mencari optimasi faktor daya DG yang digunakan.
2. Tidak hanya menggunakan 1 DG saja dapat dilakukan dengan menambahkan jumlah DG yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Mahesh, P. Nallagownden, and I. Elamvazuthi. 2016. *Advanced Pareto Front Non-Dominated Sorting Multi-Objective Particle Swarm Optimization for Optimal Placement and Sizing of Distributed Generation*. *Energies*, hal. 1 – 23.
- [2] Silalahi, C. L. 2016. *Studi Optimasi Penentuan Lokasi Penempatan Distributed Generation Pada Sistem Distribusi Tiga Fasa Dengan Metode Binary Linier Programming (BLP)*. Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- [3] A. M. Guseynov, B. S. Akhundov. 2006. *Defining Impact of Distributed Generation on Power System Stability*. Azerbaijan Scientific Research Institute of Energetic And Energy Design, hal. 122 – 125.
- [4] Hakim, L. 2013. *Buku Ajar Matakuliah Analisa Sistem Tenaga*. Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- [5] D. B. Santoso, Sarjiya, S. P. Hadi. 2017. *Algoritma Aliran Daya dengan Metode Backward/Forward Sweep pada Sistem Distribusi Radial*. CITEE, hal. 78 – 82.
- [6] R. W. Novialifiah, A. Soeprijanto, R. S. Wibowo. 2014. *Algoritma Aliran Daya untuk Sistem Distribusi Radial dengan Beban Sensitif Tegangan*. *Jurnal Teknik Pomits* vol.3, No. 1, B-7 – B-11.
- [7] N. Mohandas, R. Balamurugan, L. Lakshminarasimman. 2015. *Optimal location and sizing of real power DG units to improve the voltage stability in*

the distribution system using ABC algorithm united with chaos. Electrical Power and Energy Systems, hal. 41-52.

- [8] M. Chakravorty, D. Das. 2001. *Voltage Stability Analysis of Radial Distribution Networks.* Electrical Power and Energy System, hal. 129-135.
- [9] D. Q. Hung, N. Mithulanathan, R. C. Bansal, Member IEEE. *Analytical Expressions for DG Allocation in Primary Distribution Networks.* IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 25, No. 3, September 2010.