

**STUDI PENEMPATAN *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) UNTUK
MENGURANGI RUGI – RUGI DAYA AKTIF PADA SISTEM DISTRIBUSI
MAKASSAR**



TUGAS AKHIR

Disusun Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Meraih Gelar Strata 1 (S1)

Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

Makassar

OLEH:

AMELIA FEBRINA W.

D411 16 305

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2020



LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR
STUDI PENEMPATAN *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) UNTUK
MENGURANGI RUGI – RUGI DAYA AKTIF PADA SISTEM DISTRIBUSI
MAKASSAR

Disusun Oleh:

AMELIA FEBRINA W.

D41116305

Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Pernyataan untuk Menyelesaikan

Program Strata-1 pada Sub-Program Teknik Energi.

Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Makassar, 11 Juli 2020

Disahkan Oleh:

Pembimbing I



Ir.Hj. Zaenab Muslimin,MT

NIP. 19660201 199202 2 002

Pembimbing II



Dr. Indar Chaerah Gunadin, S.T.,MT.

NIP. 19731118 199803 2 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Elektro



Prof. Baharuddin Hamzah., ST. M.Arch, Ph.D

NIP. 19690308 199512 1 001



Optimization Software:
www.balesio.com

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Amelia Febrina W., dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Studi Pemasangan *Distributed Generation* (DG) untuk Mengurangi Rugi – Rugi Daya Aktif pada Sistem Distribusi Makassar”, adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

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

Makassar, 11 Juli 2020

Yang membuat pernyataan,



Amelia Febrina W.

Nim: D411 16 305



ABSTRAK

AMELIA FEBRINA W., Studi Penempatan Distributed Generation (DG) Untuk Mengurangi Rugi – Rugi Daya Aktif Pada Sistem Distribusi Makassar (dibimbing oleh Zaenab Muslimin dan Indar Chaerah Gunadin)

Pemasangan *distributed generation* (DG) merupakan salah satu alternative untuk mengurangi rugi – rugi daya pada sistem distribusi. Namun, tidak optimalnya penempatan dana kapasitas *distributed generation* (DG) dapat mengakibatkan rugi – rugi daya pada sistem distribusi semakin bertambah. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kapasitas dan penempatan yang optimal dari *distributed generation* (DG) untuk mengurangi rugi – rugi daya aktif pada sistem distribusi. Studi kasus yang digunakan adalah sistem distribusi Makassar penyulang Kima dan *distributed generation* (DG) yang digunakan adalah *photovoltaic*. Metode yang digunakan untuk menentukan kapasitas dan penempatan yang optimal dari *distributed generation* (DG) adalah metode analitik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kapasitas optimal *distributed generation* (DG) adalah 0.502 MW dengan penempatan optimal *distributed generation* (DG) adalah pada bus 73 atau pada trafo distribusi PT. Piramid Mega Sakti. Setelah pemasangan *distributed generation* (DG), terjadi pengurangan rugi – rugi daya aktif pada sistem distribusi dibandingkan sebelum pemasangan *distributed generation* (DG).

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



ABSTRACT

AMELIA FEBRINA W., Studi Penempatan Distributed Generation (DG) Untuk Mengurangi Rugi – Rugi Daya Aktif Pada Sistem Distribusi Makassar (dibimbing oleh Zaenab Muslimin dan Indar Chaerah Gunadin)

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 distributed generation (DG) can result in increased power losses in the distribution system. The proposed of this research is to determine the optimal sizing and placement of distributed generation (DG) to reduce active power losses in the distribution system. The case study used is feeder Kima of Makassar distribution system and the distributed generation (DG) used is photovoltaic. The method used to determine the optimal capacity and placement of distributed generation (DG) is the analytical method. The result show that the optimal capacity of distributed generation (DG) is 0.502 MW with optimal placement of distributed generation (DG) is on bus 73 or on PT. Piramid Mega Sakti. After the installation of distributed generation (DG), it shows that there is reduction in active power losses compared to before the installation of distributed generation (DG).

Kata Kunci : Distributed Generation, optimization, size, placement



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat serta kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul : “Studi Penempatan *Distributed Generation* (DG) Untuk Mengurangi Rugi – Rugi Daya Aktif Pada Sistem Distribusi Makassar”.

Tujuan penulisan skripsi ini untuk memenuhi sebahagian syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) bagi mahasiswa program S1 di program studi Teknik Elektro Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini.

Terselesaikannya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar – besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai. Maka, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:



1. Bapak Edwin Welirangan dan Ibu Rasdiana Zainuddin selaku orang tua saya yang tidak henti – hentinya memberikan doa dan dukungan dalam bentuk apapun kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Ibu Ir. Zaenab Muslimin, M.T. selaku pembimbing I dan Bapak Dr. Indar Chaereah Gunadin, S.T., M.T. selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan, gagasan, serta ide – ide dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Ansar Suyuti, M.T. dan Bapak Ir. H. Gassing , M.T. selaku dosen penguji skripsi saya yang telah memberikan saran dan kritik dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Seluruh dosen pengajar serta pegawai Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin atas bimbingan, didikan, kemudahan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh perkuliahan.
6. Diva, Fira, Muthi, Adhelia dan segenap keluarga besar tercinta yang selalu

ti motivasi dan dorongan yang tak ternilai harganya.



7. KI2A (Kiki, Icha dan Alya) teman seperjuangan yang sangat banyak membantu penulis dan selalu ada saat suka maupun duka dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Teman – teman VIBRATE (Kiki, Icha, Alya, Shania, Nita, Dhea, dan Firda) yang telah menemani dan menyemangati penulis sejak awal masa perkuliahan hingga saat ini.
9. Justin Bieber yang telah menyemangati dan menemani saya melalui karya – karyanya.
10. Teman – teman Lab Riset Relay dan Pengukuran (Kiki, Icha, Alya, Shania, Reyhan, Adul, Wira, Adnan, Amin, Arya, Gafur, Syafiq, dan Syahril) yang selalu saling menyemangati dalam mengerjakan Tugas Akhir.
11. *Official* SKJ (Kiki, Icha, Alya, Shania, Reyhan, Restu, Fauzan, Amin, Gafur, Ryan) dan Fikri atas kebersamaannya.
12. EXCITER 16 tanpa terkecuali yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas segala kebersamaan, kerjasama dan motivasinya selama penulis menapak masa – masa perkuliahan hingga pada penyelesaian studi ini.



13. Teman – teman Asisten Lab Fisika Dasar dan Asisten Lab Rangkaian Listrik atas kebersamaannya.
14. Izzah dan Afifah atas dukungan dan kebersamaannya sejak awal masa perkuliahan hingga saat ini.
15. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini namun tidak bisa disebutkan satu persatu pada kesempatan ini.

Akhir kata, penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Makassar, Juli 2020

Penulis

viii



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II	5
2.1 Sistem Tenaga Listrik	5
2.1.1 Sistem Pembangkitan	6
Jaringan Transmisi	6
Jaringan Distribusi	7
	ii



2.2	Sistem Distribusi	7
2.2.1	Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Penyaluran pada SUTM.....	8
2.2.2	Klasifikasi Jaringan Distribusi	9
2.3	Daya.....	11
2.4	Sistem Per Unit.....	14
2.5	Teori Aliran Daya.....	15
2.6	Distributed Generation	19
2.7	Optimasi Kapasitas <i>Distributed Generation</i>	21
2.8	Optimasi Penempatan <i>Distributed Generation</i>	25
2.9	MATLAB	27
2.9.1	PSAT.....	28
BAB III		31
3.1	Rancangan Penelitian	31
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	31
3.3	Peralatan Penelitian	31
3.4	Data Awal Penelitian.....	32
3.5	Jenis Penelitian	37
	Diagram Alir Tugas Akhir	39



3.7	Tahap Perhitungan Program	40
3.8	Diagram Alir Program	43
3.9	Validasi Program	44
BAB IV		46
4.1	Simulasi Aliran Daya Tanpa Terinterkoneksi <i>Distributed Generation</i> (DG)	46
4.2	Simulasi Aliran Daya Saat Sistem Terinterkoneksi <i>Distributed Generation</i> (DG)	51
4.3	Perhitungan Rugi – Rugi Daya Aktif Menggunakan Matlab	59
4.4	Kapasitas Optimal <i>Distributed Generation</i>	61
4.5	Penempatan Optimal <i>Distributed Generation</i>	64
4.6	Analisa Biaya Pemasangan <i>Distributed Generation</i> (DG).....	72
BAB V.....		78
5.1	Kesimpulan.....	78
5.2	Saran	79
DAFTAR PUSTAKA		80
LAMPIRAN		84



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram satu garis sistem tenaga listrik.....	5
Gambar 2.2 Segitiga daya	13
Gambar 2.3 Grafik Perbandingan Rugi – Rugi Akurat dan Perkiraan.....	27
Gambar 2.4 Skema Kerja PSAT	30
Gambar 3. 1 Single Line Diagram Feeder Kima.....	33
Gambar 3. 2 Diagram Alir Tugas Akhir	39
Gambar 3. 3 Diagram Alir Program.....	43
Gambar 3. 4 sistem WSCC-9 bus	44
Gambar 3. 5 Rugi – Rugi Daya Aktif WSCC 9-Bus Menggunakan Program.....	45
Gambar 4. 1 Single Line Diagram sistem distribusi Makssar penyulang Kima setelah terinterkoneksi Distributed Generation	56
Gambar 4. 2 Grafik Kapasitas Optimal Distributed Generation pada Setiap Bus	63
Gambar 4. 3 Grafik Perkiraan Rugi – Rugi Sistem Saat Terinterkoneksi Distributed Generation pada Tiap Bus Secara Bergantian.....	68
Gambar 4. 4 Atap PT. Piramid Mega Sakti	77



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data Impedansi Jaringan Distribusi Makassar Feeder Kima	34
Tabel 3. 2 Data Beban Sistem Distribusi Makassar Feeder Kima.....	35
Tabel 3. 3 Paramter Sistem WSCC-9.....	44
Tabel 3. 4 Hasil Simulasi Aliran Daya WSCC-9 bus	45
Tabel 4. 1 Hasil Simulasi Aliran Daya Sistem Distribusi Makassar Penyulang Kima	46
Tabel 4. 2 Hasil Aliran Daya Setelah Sistem Terinterkoneksi Distributed Generation.....	51
Tabel 4. 3 Perbandingan Tegangan Tiap Bus Sebelum dan Setelah Sistem Terinterkoneksi Distributed Generation.....	57
Tabel 4. 4 Kapasitas Optimal Distributed Generation pada Tiap Bus	62
Tabel 4. 5 Rugi – Rugi Daya Aktif Perkiraan Setelah Dipasangkan Distributed Generation pada Tiap Bus Secara Bergantian.....	66
Tabel 4. 6 Perbandingan rugi – rugi daya aktif dengan lokasi dan kapasitas Distributed Generation yang berbeda beda.	70
Tabel 4. 7 Perbandingan rugi – rugi sistem sebelum dan setelah terinterkoneksi dengan distributed generation (DG).....	72
Tabel 4. 8 Nilai NPV dari perancangan distributed generation (DG).....	76



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semua kegiatan pembangunan sarana fisik pada berbagai sektor menggunakan energi listrik sebagai salah satu infrastruktur penunjang kegiatan. Manusia memerlukan energi listrik sebagai penunjang segala aktifitasnya. Seiring dengan pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat dan pembangunan yang semakin pesat, kebutuhan akan energi listrik selalu meningkat setiap waktu.

Peningkatan beban mengarah pada pengembangan jaringan distribusi, yang akan mengarah pada peningkatan rugi – rugi daya pada sistem, penurunan tegangan bus, peningkatan ketidakseimbangan beban, dan juga menghasilkan masalah stabilitas. Sebagian besar rugi - rugi daya pada sistem tenaga terjadi pada sistem distribusi. Jaringan distribusi sebagian besar berbentuk radial, karena rasio R/X yang tinggi menyebabkan rugi – rugi daya tinggi dan *drop* tegangan yang besar. Minimalisasi kerugian daya memegang peran penting untuk operasi ekonomis dan pengurangan biaya. Salah satu cara mengurangi rugi - rugi daya adalah penempatan *distributed generation* (DG).

Karena keterbatasan sumber daya bahan bakar fosil, saat ini pembangkit listrik energi terbarukan menjadi salah satu pilihan dalam meningkatkan kebutuhan terhadap listrik yang tiap tahun semakin bertambah. Pembangkit energi n yang menghasilkan energi listrik dalam skala kecil dan ditempatkan di



sisi pusat beban yang diinterkoneksi dengan jaringan distribusi, untuk pembangkit listrik yang demikian dinamakan *distributed generation* (DG).

Distributed generation (DG) memiliki banyak keuntungan seperti meningkatkan kapasitas daya dalam sistem tenaga, mengurangi kerugian daya dalam sistem tenaga, dan meningkatkan profil tegangan. *Distributed generation* (DG) sebelumnya digunakan sebagai sumber daya aktif, tetapi dengan kemajuan teknologi, *distributed generation* (DG) tersedia dalam banyak jenis seperti: Sumber daya aktif (misalnya PV), sumber daya reaktif (misalnya kondensator sinkron), sumber aktif dan reaktif (mesin sinkron, atau PLTB). Pemasangan *distributed generation* (DG) pada sistem distribusi secara signifikan mengurangi rugi – rugi daya dan meningkatkan profil tegangan sistem.

Untuk memanfaatkan *distributed generation* (DG) secara optimal, *distributed generation* (DG) harus memiliki tempat dan ukuran yang tepat dalam sistem. Pemasangan *distributed generation* (DG) yang tidak optimal dapat mengakibatkan rugi – rugi sistem bertambah, tegangan tidak stabil, dan *voltage flicker*. Penggunaan metode optimasi dapat memberikan solusi terbaik untuk menentukan lokasi dan ukuran optimal dari *distributed generation* (DG).

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan maka penulis mengangkat judul tugas akhir yaitu: “STUDI PENEMPATAN *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) UNTUK MENGURANGI RUGI – RUGI DAYA AKTIF PADA SISTEM DISTRIBUSI MAKASSAR”.



1.2 Rumusan Masalah

Adapun perumusan masalah pada skripsi ini adalah:

1. Bagaimana menentukan kapasitas dan penempatan *distributed generation* (DG) pada sistem distribusi?
2. Bagaimana pengaruh pemasangan *distributed generation* (DG) terhadap rugi – rugi daya total pada sistem distribusi?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan besarnya kapasitas dan penempatan *distributed generation* (DG) yang paling optimal pada sistem distribusi.
2. Mengetahui pengaruh *distributed generation* (DG) terhadap rugi – rugi daya total pada sistem distribusi.

1.4 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penelitian pada bagian yang dianggap paling penting, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Analisa aliran daya listrik memanfaatkan data hasil yang didapat dari PT. PLN (Persero) UP3 Makassar Utara.
2. Perangkat lunak yang digunakan adalah MATLAB.



3. Tidak membahas mengenai gangguan – gangguan dan sistem proteksi yang terdapat pada sistem.
4. Data yang diambil adalah sistem distribusi Makassar penyulang Kim dengan sumber hanya dari GI Daya, tidak ada dari Gardu Induk lainnya.
5. Analisis yang dilakukan adalah hanya untuk meminimalkan rugi – rugi daya pada saluran distribusi.
6. Tidak membahas jumlah *distributed generation* (DG) yang digunakan.
7. *Distributed generation* (DG) yang digunakan adalah *photovoltaic* (hanya menginjeksikan daya aktif).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Secara akademis, diharapkan penelitian ini dapat bermanfaat bagi penambahan referensi yang berkaitan dengan *distributed generation* (DG) di Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin.
2. Secara Praktis, penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi pihak PLN di sistem distribusi Makassar.

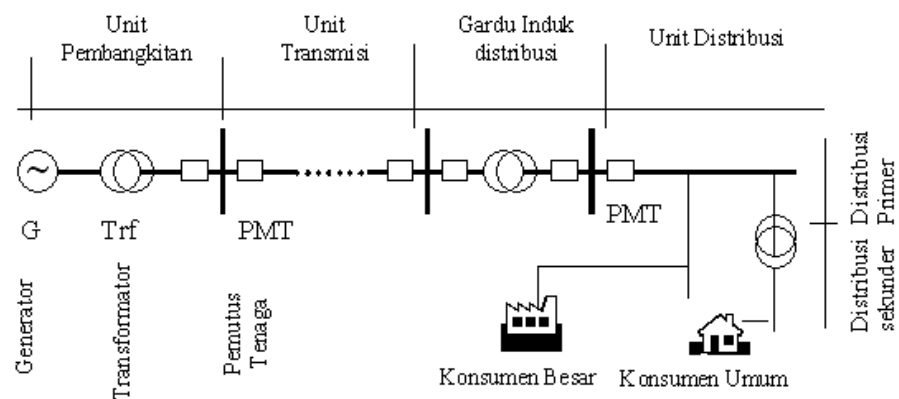


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Suatu sistem tenaga listrik terdiri atas sistem pembangkitan, transmisi dan distribusi. Secara umum rancangan (*lay out*) dari sistem tenaga listrik dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Note ganti menjadi : dapat dilihat pada Gambar 2.1)



Gambar 2.1 Diagram satu garis sistem tenaga listrik

Sistem tenaga listrik tersebut dilengkapi pula dengan gardu – gardu induk dan perangkat perlengkapan lainnya (instrument ukur dan proteksi/pengaman), yang pada kenyataannya merupakan suatu sistem dan jaringan yang sangat kompleks. [1]



2.1.1 Sistem Pembangkitan

Sistem pembangkit adalah sistem dimana energi listrik di-“proses” dan di-“hasil”-kan, yang terdiri atas penggerak mula (*prime mover*), yang berupa perangkat mekanis untuk memutar kumparan generator dan generator itu sendiri. Pusat pembangkit berfungsi untuk mengkonversikan sumber daya energi primer menjadi energi listrik. Pusat pembangkit listrik konvensional mencakup: [2]

1. Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU)
2. Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA)
3. Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG)
4. Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD)
5. Pusat Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)
6. Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)

2.1.2 Jaringan Transmisi

Pada umumnya sistem pembangkitan jauh dari tempat – tempat di mana energi listrik tersebut digunakan. Karenanya energi listrik yang dibangkitkan itu harus disalurkan melalui saluran transmisi. Karena tegangan generator umumnya rendah, antara 6 kV sampai dengan 24 kV, maka tegangan tersebut harus dinaikkan

transformator daya yang ada (*step up transformer*) dengan pertimbangan s. [2]



2.1.3 Jaringan Distribusi

Apabila saluran transmisi menyalurkan tenaga listrik bertegangan tinggi ke pusat – pusat beban dalam jumlah besar, maka saluran distribusi berfungsi membagikan tenaga listrik tersebut kepada pihak pemakai melalui saluran tegangan rendah. Pada dasarnya jaringan distribusi mirip dengan jaringan transmisi, yaitu jaringan sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik melalui konduktor – konduktor (kawat), yang membedakan hanyalah bahwa jaringan distribusi adalah jaringan transmisi energi listrik yang lebih ke hilir (konsumen), dimana tegangannya telah diturunkan oleh transformator penurun tegangan hingga mencapai tegangan menengah, pada jaringan transmisi tegangan cenderung sangat tinggi sekali sampai batas – batas ekstrim (*extra high voltage*). [2]

2.2 Sistem Distribusi

Sistem jaringan tenaga listrik adalah penyaluran energi listrik dari pembangkit tenaga listrik (power station) hingga sampai kepada konsumen (pemakai) pada tingkat tegangan yang diperlukan. Sistem tenaga listrik ini terdiri dari unit pembangkit, unit transmisi dan unit distribusi. [3]

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik

1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (konsumen), dan 2) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung



berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat – pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. [4]

Sistem pendistribusian tenaga listrik dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu sistem pendistribusian langsung dan sistem pendistribusian tak langsung. [3]

2.2.1 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Penyaluran pada SUTM

Penyaluran daya listrik dari pembangkit sampai ke konsumen melalui suatu sistem penyaluran yang panjang, terdapat parameter – parameter yang mempengaruhi besaran tenaga listrik yang diterima. Adapun yang mempengaruhi sistem penyaluran daya listrik pada saluran udara tegangan menengah adalah sebagai berikut: [5]

1. **Pengaruh Eksternal** adalah pengaruh lingkungan yang sering mengakibatkan terjadinya gangguan – gangguan pada sistem sehingga menyebabkan pemadaman listrik, tingkat tegangan yang menurun, serta ayunan tegangan yang diakibatkan oleh faktor alam seperti angin, gempa bumi, badai dan gunung meletus. Sedangkan pengaruh hewan dan manusia terjadi perusakan alam seperti penebangan pohon didekat jaringan listrik.
2. **Pengaruh Internal** adalah pengaruh yang dialami oleh saluran listrik tegangan menengah akibat dari kondisi penyaluran tenaga listrik. Pengaruh internal dapat menyebabkan terjadi perubahan listrik yang dikirim dari pusat

pembangkitan ke konsumen tenaga listrik. Sehingga untuk memperbaiki perlu



dikompensasi dengan peralatan – peralatan bantu distribusi. Pengaruh – pengaruh internal yang dimaksud adalah resistansi, induktansi, dan kapasitansi.

2.2.2 Klasifikasi Jaringan Distribusi

Sistem jaringan distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan dari berbagai segi, antara lain adalah: [3]

1. Berdasarkan ukuran tegangan

Berdasarkan ukuran teganganm jaringan distribusi tenaga listrik dapat dibedakan pada dua sistem, yaitu:

a. Sistem jaringan distribusi primer

Sistem jaringan distribusi primer atau sering disebut jaringan distribusi tegangan tinggi (JDTT) ini terletak antara gardu induk dengan gardu pembagi, yang memiliki tegangan sistem lebih tinggi dari tegangan terpakai untuk konsumen. Standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 6 kV, 10 kV, dan 20 kV (sesuai standar PLN). Sedangkan di Amerika Serikat standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 2,4 kV; 4,26 kV; dan 13,8 kV.

b. Sistem jaringan distribusi sekunder

Sistem jaringan distribusi sekunder atau sering disebut jaringan distribusi rendah (JDTR), merupakan jaringan yang berfungsi sebagai penyalur trik dari gardu – gardu pembagi (gardu distribusi) ke pusat – pusat beban en tenaga listrik). Besarnya standar tegangan untuk jaringan distribusi



sekunder ini adalah 127/220 V untuk sistem lama, dan 220/380 V untuk sistem baru, serta 440/550 V untuk keperluan industry.

2. Berdasarkan ukuran arus

Berdasarkan ukuran arus listrik maka sistem jaringan distribusi dapat dibedakan dalam dua macam, yaitu:

- a. Jaringan Distribusi AC
- b. Jaringan Distribusi DC

3. Berdasarkan sistem penyaluran

Berdasarkan sistem penyalurannya, jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu dengan:

- a. Saluran udara (*overhead line*)

Saluran udara merupakan sistem penyaluran tenaga listrik melalui kawat penghantar yang ditompang pada tiang listrik

- b. Saluran bawah tanah (*underground cable*)

Saluran bawah tanah merupakan sistem penyaluran tenaga listrik melalui kabel – kabel yang ditanamkan di dalam tanah.

Berdasarkan konstruksi jaringan



Melihat bentuk konstruksi jaringan distribusi tenaga listrik saluran udara, maka dikenal 2 macam konstruksi, yaitu:

- a. Konstruksi Horizontal
- b. Konstruksi Vertikal

5. Berdasarkan bentuk jaringan

- a. Sistem Radial Terbuka
- b. Sistem Radial Paralel
- c. Sistem Rangkaian Tertutup (*Loop Circuit*)
- d. Sistem Network/Mesh
- e. Sistem Interkoneksi

2.3 Daya

Pada sistem tenaga listrik terdapat perbedaan antara daya atau kekuatan (*power*) dan energi; energi adalah daya dikalikan waktu sedangkan daya listrik merupakan hasil perkalian tegangan dan arusnya, dengan satuan daya listrik yaitu watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu [Joule/s]. Daya listrik [P] yang dihasilkan oleh arus listrik [i] pada tegangan [v] dinyatakan dengan persamaan 2.1



$$P = i \cdot v \quad (2.1)$$

Dimana,

P = daya [watt]

i = arus [ampere]

v = tegangan [volt]

Dalam sistem listrik arus bolak balik, dikenal adanya 3 jenis daya untuk beban yang memiliki impedansi (Z), yaitu:

1. **Daya Aktif (P)** disebut juga daya nyata yaitu daya yang dibutuhkan oleh beban. Satuan daya aktif adalah Watt dinyatakan dengan persamaan 2.2

$$P = V \cdot I \cdot \cos\varphi$$

$$P_{3\phi} = 3 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos\varphi \quad (2.2)$$

2. **Daya Reaktif (Q)** adalah daya yang timbul akibat adanya efek induksi elektromagnetik oleh beban yang mempunyai nilai induktif (fase arus tertinggal/lagging) atau kapasitif (fase arus mendahului/leading). Satuan daya reaktif adalah Var dinyatakan dengan persamaan 2.3

$$Q = V \cdot I \cdot \sin\varphi$$

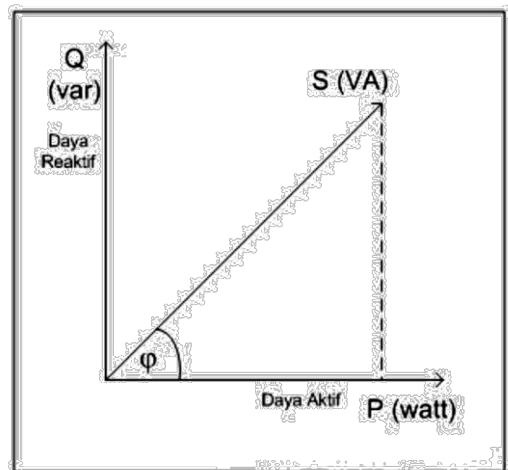
$$P_{3\phi} = 3 \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sin\varphi \quad (2.3)$$

Daya Semu (S) adalah penjumlahan daya aktif dan daya reaktif secara kompleks. Satuan daya ini adalah VA dinyatakan dengan persamaan 2.4



$$S = P + jQ = V \cdot I^* \quad (2.4)$$

Hubungan dari ketiga daya diatas (P, Q, S) disebut segitiga daya, yang dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Segitiga daya

Daya listrik yang dikirimkan dan disalurkan dari gardu induk/trafo distribusi ke pemakai mengalami rugi tegangan dan rugi daya, ini disebabkan karena saluran distribusi mempunyai tahanan, induktansi, dan kapasitansi.

Daya listrik yang tersalurkan dari sumber ke beban jumlahnya berbeda, hal ini dikarenakan terjadinya rugi – rugi daya. Sehingga hal ini dapat menentukan efisiensi daya pada sistem tersebut. Untuk menentukan besarnya efisiensi daya menggunakan rumus sebagai berikut: [6]



$$= \frac{\Delta S (kVA)}{S_{kirin}} \times 100\% \quad (2.5)$$

2.4 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: [7]

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 dituliskan sebagai berikut:

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

(2.6)



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:

$$I_b = \frac{S_b}{V_b} \quad (2.7)$$

$$Z_b = \frac{V_b}{I_b} \quad (2.8)$$

$$Z_{pu} = \frac{Z}{Z_b} \quad (2.9)$$

2.5 Teori Aliran Daya

Perhitungan aliran daya merupakan suatu alat bantu yang sangat penting untuk mengetahui kondisi operasi sistem. Perhitungan aliran daya pada tegangan, arus dan faktor daya di berbagai simpul suatu jaringan listrik dilakukan pada keadaan operasi normal. Hasil perhitungan aliran daya ini kemudian digunakan untuk mensimulasi kondisi gangguan yang besar, stabilitas transien maupun analisa kontegensi yaitu analisa keadaan dimana sebagian komponen sistem tidak terhubung ke sistem dengan baik. [8]

Perhitungan aliran daya membutuhkan informasi ramalan kebutuhan beban di setiap titik pelayanan, rencana operasi pusat pembangkit dan rencana operasi fasilitas transmisi. Dari informasi di atas dapat disusun persamaan aliran daya pada satu Gardu Induk (G.I.) ke G.I. lainnya. [8]



Perhitungan aliran daya pada dasarnya adalah menghitung besaran tegangan $|V|$ dan sudut fasa tegangan δ pada setiap G.I. pada kondisi tunak dan ketiga fasa seimbang. Hasil perhitungan ini digunakan untuk menghitung besar aliran daya aktif P dan daya reaktif Q di setiap peralatan transmisi, besarnya daya aktif P dan daya reaktif Q yang harus dibangkitkan setiap pusat pembangkit serta jumlah rugi – rugi di sistem. [8]

Pada setiap bus G.I. ada 4 (empat) variable operasi yang terkait, yaitu daya aktif P, daya reaktif Q, besaran tegangan $|V|$ dan sudut fasa tegangan δ . Supaya persamaan aliran daya dapat dihitung 2 (dua) dari 4 (empat) variabel di atas harus diketahui untuk setiap G.I., sedangkan 2 (dua) variabel lainnya dihitung. [8]

Setiap G.I. dalam sistem tenaga listrik dikelompokkan menjadi 3 (tiga) tipe G.I., yaitu: [8]

1. G.I. bus beban: Variabel yang diketahui adalah daya aktif P, daya reaktif Q. Kemudian akan dihitung besaran tegangan $|V|$ dan sudut fasa tegangan δ disetiap G.I.
2. G.I. bus pembangkit: Variabel yang diketahui adalah daya aktif P dan besaran tegangan $|V|$, sedangkan daya reaktif Q dan sudut fasa tegangan δ merupakan hasil perhitungan.
3. G.I. bus penyanggah (G.I. *swing*): Variabel yang diketahui adalah besaran tegangan $|V|$ dan sudut fasa tegangan δ yang merupakan sudut acuan.



Sedangkan daya aktif P dan daya reaktif Q yang harus dikompensasi merupakan hasil perhitungan.

Masalah aliran daya dapat didefinisikan sebagai perhitungan dari aliran – aliran daya saluran dan tegangan – tegangan bus dari suatu sistem tenaga listrik pada kondisi beban dan pembangkitan tertentu. [8]

Dalam penyelesaian aliran daya ada dua metode umum yang digunakan yaitu metode *Gauss-Seidel* dan metode *Newton-Raphson*. Dalam tugas akhir ini penulis akan menggunakan metode *Newton-Raphson* karena metode ini lebih cepat mencapai nilai konvergen sehingga proses iterasi yang berlangsung lebih sedikit, tetapi setiap iterasinya memerlukan waktu yang relative lebih lama, karena jumlah iterasinya sedikit, secara keseluruhan memerlukan waktu yang lebih singkat dalam penyelesaian aliran daya. [9]

Untuk menerapkan metode *Newton-Raphson* pada penyelesaian persamaan aliran daya kita menyatakan tegangan bus dan admitansi saluran dalam bentuk polar, seperti pada Persamaan (2.10) dan (2.11)

$$P_i = V_i^* \sum_{n=1}^n Y_{in} V_n \quad (2.10)$$

$$Q_i = -Im\{V_i^* \sum_{n=1}^n Y_{in} V_n\} \quad (2.11)$$

Dimana P_i adalah besar daya aktif pada bus ke-i; Q_i adalah besar daya reaktif pada

V_i^* adalah besar tegangan pada bus ke-i; V_n adalah besar tegangan pada bus
 Y_{in} adalah besasr admitansi antara bus ke-i dan bus ke-n. [10]



Hasil perhitungan daya menggunakan persamaan (2.10) dan (2.11) akan diperoleh nilai $P_i^{(k)}$ dan $Q_i^{(k)}$. Hasil ini digunakan untuk menghitung nilai $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta P_i^{(k)} = P_{ispec} - P_{i\ calc}^{(k)} \quad (2.12)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_{ispec} - Q_{i\ calc}^{(k)} \quad (2.13)$$

Dimana $P_{i\ calc}^{(k)}$ adalah besar daya aktif perhitungan pada bus ke-i; P_{ispec} adalah besar daya aktif yang diketahui pada bus ke-i; $Q_{i\ calc}^{(k)}$ adalah besar daya reaktif perhitungan pada bus ke-i; Q_{ispec} besar daya reaktif yang diketahui pada bus ke-i.

[10]

Hasil perhitungan Persamaan (2.12) dan (2.13) digunakan untuk membentuk matriks *Jacobian*, persamaan matriks *Jacobian* dapat dilihat pada Persamaan (2.14)

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta^{(k)} \\ \Delta |V|^{(k)} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Setelah nilai $\Delta \delta^{(k)}$ dan $\Delta |V|^{(k)}$ didapatkan, kita dapat menghitung nilai tersebut untuk iterasi berikutnya, yaitu dengan menambahkan nilai $\Delta \delta_i^{(k)}$ dan $\Delta |V|_i^{(k)}$, sehingga diperoleh persamaan (2.15) dan (2.16). [10]

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (2.15)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (2.16)$$



Hasil perhitungan persamaan (2.15) dan (2.16) digunakan lagi untuk proses iterasi selanjutnya, yaitu dengan memasukkan nilai ini ke dalam Persamaan (2.10) dan (2.11) sebagai langkah awal perhitungan aliran daya. Proses ini dilakukan terus menerus yaitu n-iterasi sampai diperoleh nilai yang konvergen. [10]

2.6 Distributed Generation

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) mendefinisikan *distributed generation (DG)* sebagai pembangkit yang menghasilkan energi dalam kapasitas yang lebih kecil dibandingkan pusat – pusat pembangkit konvensional dan dapat dipasang hampir pada setiap sistem tenaga listrik. Menurut definisi *International Energy Agency (IEA)*, *distributed generation (DG)* merupakan unit – unit yang menghasilkan energi pada sisi konsumen atau dalam jaringan distribusi lokal. *Distributed generation (DG)* didefinisikan sebagai pembangkit tenaga listrik yang diinjeksikan ke dalam jaringan distribusi atau pada sisi konsumen. Berdasarkan dari beberapa uraian sebelumnya, *distributed generation (DG)* sendiri dapat diartikan sebagai suatu pembangkit sisipan yang bersifat pembangkit *renewable* yang letaknya tersebar di dekat area pembebanan dalam sistem tenaga listrik. [11]

Sumber tenaga pembangkitan *distributed generation (DG)* sendiri merupakan tenaga yang *renewable* atau tenaga terbarukan. Beberapa contoh sumber pembangkitan *distributed generation (DG)* adalah pembangkit listrik tenaga

pembangkit listrik tenaga panas bumi, pembangkit listrik tenaga matahari, pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Pembangkit ini ramah lingkungan,



membatasi pembangunan transmisi baru, andal dalam merespon perubahan beban, mengurangi bahan bakar fosil, deregulasi dalam pasar kelistrikan dan sejumlah keuntungan lainnya. [11]

Distributed generation (DG) dapat memberikan manfaat berbagai layanan untuk utilitas dan konsumen, termasuk sebagai pembangkit siaga, pembangkit pendukung beban puncak, pembangkit untuk beban dasar, pendukung penyediaan daya aktif, pendukung penyediaan daya reaktif, pendukung stabilitas tegangan, stabilitas jaringan, cadangan berputar, dan dapat juga menurunkan rugi daya pada jaringan. [12]

Sekarang ini *distributed generation* (DG) didefinisikan memiliki banyak jenis dari daya yang diinjeksikan ke sistem distribusi. Berikut ini jenis – jenis dari *distributed generation* (DG) berdasarkan daya yang diinjeksikan ke sistem distribusi: [7]

1. Tipe 1, *distributed generation* (DG) yang menginjeksikan hanya daya aktif saja. Contoh dari jenis ini seperti *photovoltaic, fuel cells, micro turbin* dengan faktor daya sama dengan 1.
2. Tipe 2, *distributed generation* (DG) yang menginjeksikan daya reaktif saja. Contoh dari jenis ini seperti kompensator sinkron.
3. Tipe 3, *distributed generation* (DG) yang menginjeksikan daya aktif dan daya reaktif. Contoh dari jenis ini seperti generator sinkron.



4. Tipe 4, *distributed generation* (DG) yang menginjeksikan daya aktif namun di waktu yang sama juga menyerap daya reaktif dari sistem. Contoh dari jenis ini seperti generator induksi.

Berikut ini jenis – jenis *distributed generation* (DG) berdasarkan kapasitasnya:

1. *Micro Distributed Generation, distributed generation* (DG) yang memiliki range kapasitas daya 1 W – 5 kW.
2. *Small Distributed Generation, distributed generation* (DG) yang memiliki range kapasitas daya 5 kW – 5 MW.
3. *Medium Distributed Generation, distributed generation* (DG) yang memiliki range kapasitas 5 MW – 50 MW.
4. *Large Distributed Generation, distributed generation* (DG) yang memiliki range kapasitas daya 50 MW – 300MW.

2.7 Optimasi Kapasitas *Distributed Generation*

Rugi – rugi daya aktif total pada sistem tenaga dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.23), yang sering dikenal sebagai “*exact loss formula*” [13].

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [a_{ij}(P_i P_j + Q_i Q_j) + b_{ij}(Q_i P_j + P_i Q_j)] \quad (2.17)$$



$$a_{ij} = \frac{R_{ij}}{v_i v_j} \cos(\delta_i - \delta_j) \quad (2.18)$$

$$b_{ij} = \frac{R_{ij}}{v_i v_j} \sin(\delta_i - \delta_j) \quad (2.19)$$

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 *distributed generation* (DG) dipasang dapat dituliskan dengan persamaan berikut ini:

$$P_i = P_{DG} - P_{Di} \quad (2.20)$$

$$Q_i = Q_{DG} - Q_{Di} = (apf \cdot P_{DG}) - Q_{Di} \quad (2.21)$$

dimana,

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

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

dengan $sign = +1$ untuk *distributed generation* (DG) menginjeksikan daya reaktif

$sign = -1$ untuk *distributed generation* (DG) menyerap daya reaktif



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

PF_{DG} : Faktor daya dari *distributed generation* (DG)

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.20) dan (2.21) ke persamaan (2.17) maka didapatkan rugi – rugi daya aktif dengan *distributed generation* (DG) sebagai berikut:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [a_{ij} \{ (P_{DG_i} - P_{Di}) P_j + ((apf * P_{DG_i}) - Q_{Di}) Q_j \} + b_{ij} \{ ((apf * P_{DG_i}) - Q_{Di}) P_j - (P_{DG_i} - P_{Di}) Q_j \}] \quad (2.22)$$

Rugi – rugi daya aktif pada sistem dapat mencapai nilai minimum dengan mendifrensial parsial kan persamaan (2.22) terhadap daya aktif dari *distributed generation* (DG) pada bus i (P_{DG_i}) menjadi nol.

$$\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{DG_i}} = 2 \sum_{j=1}^N [a_{ij} (P_j + (apf * Q_j)) + b_{ij} ((apf * P_j) - Q_j)] = 0 \quad (2.23)$$

Persamaan (2.23) dapat ditulis juga sebagai berikut:

$$a_{ii} (P_i + (apf * Q_i)) + b_{ii} ((apf * P_i) - Q_i) + \sum_{j=1, j \neq i}^N (a_{ij} P_j - b_{ij} Q_j) + apf \sum_{j=1, j \neq i}^N (a_{ij} Q_j + b_{ij} P_j) = 0 \quad (2.24)$$

misalkan,

$$\sum_{j=1, j \neq i}^N (a_{ij} P_j - b_{ij} Q_j) \quad (2.25)$$



$$Y_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (a_{ij}Q_j - b_{ij}P_j) \quad (2.26)$$

Dari persamaan (2.20), (2.21), (2.24), (2.25) dan (2.26), didapatkan persamaan (2.27)

$$a_{ii}(P_{DG_i} - P_{Di} + apf^2 P_{DG_i} - apf Q_{Di}) + b_{ii}(Q_{Di} - apf P_{Di}) + X_i + aY_i = 0 \quad (2.27)$$

Dari persamaan (2.27), kapasitas optimal dari *distributed generation* (DG) pada bus i untuk meminimumkan rugi – rugi dapat dituliskan sebagai:

$$P_{DG_i} = \frac{a_{ii}(P_{Di} + apf Q_{Di}) + b_{ii}(apf P_{Di} - Q_{Di}) - X_i - apf Y_i}{apf^2 a_{ii} + a_{ii}} \quad (2.28)$$

Pengurangan rugi – rugi daya aktif setelah sistem terinterkoneksi dengan *distributed generation* (DG) dapat dituliskan sebagai: [14]

$$\text{Pengurangan rugi – rugi} = \frac{P_{loss} - P_{loss}^{DG}}{P_{loss}} \times 100\% \quad (2.29)$$

Faktor daya dari *distributed generation* (DG) tergantung dari kondisi operasi dan tipe dari *distributed generation* (DG) tersebut. Ketika faktor daya dari *distributed generation* (DG) diketahui, maka kapasitas optimal dari *distributed generation* (DG) pada bus i untuk meminimalkan rugi – rugi daya dapat ditentukan dengan beberapa cara berikut: [13]



distributed generation (DG) Tipe 1, untuk *distributed generation* (DG) tipe faktor dayanya adalah 1, sehingga $apf = 0$, dari persamaan (2.28),

kapasitas optimal dari *distributed generation* (DG) pada bus i untuk meminimalkan rugi – rugi daya dapat diberikan dengan persamaan:

$$P_{DGi} = P_{Di} + \frac{1}{\alpha_{ii}} [\beta_{ii}Q_i - \sum_{\substack{j=i \\ j \neq i}}^N (\alpha_{ij}P_j - \beta_{ij}Q_j)] \quad (2.30)$$

2. *Distributed generation* (DG) Tipe 2, untuk *distributed generation* (DG) tipe 2 faktor dayanya dianggap 2 dan $\text{apf} = \infty$, dari persamaan (2.28), kapasitas optimal dari *distributed generation* (DG) pada bus i untuk meminimalkan rugi – rugi daya dapat diberikan dengan persamaan:

$$Q_{DGi} = Q_{Di} + \frac{1}{\alpha_{ii}} [\beta_{ii}P_i - \sum_{\substack{j=i \\ j \neq i}}^N (\alpha_{ij}Q_j - \beta_{ij}P_j)] \quad (2.31)$$

3. *Distributed generation* (DG) Tipe 3, faktor dayanya berada diantara 0 dan 1, $\text{sign} = +1$ dan apf adalah konstan, maka kapasitas optimum dari *distributed generation* (DG) pada bus i untuk meminimalkan rugi –rugi diberikan pada persamaan (2.28) dan (2.21)
4. *Distributed generation* (DG) Tipe 4, faktor dayanya berada diantara 0 dan 1, $\text{sign} = -1$ dan apf adalah konstan, maka kapasitas optimum dari *distributed generation* (DG) pada bus i untuk meminimalkan rugi –rugi diberikan pada persamaan (2.28) dan (2.21)

2.8 Optimasi Penempatan *Distributed Generation*

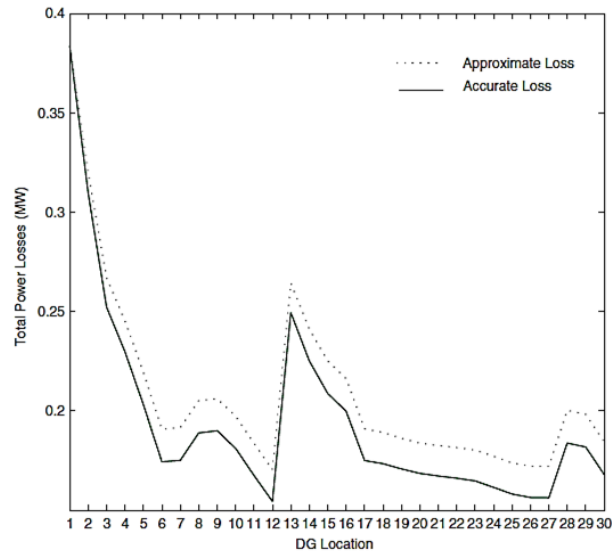


Setelah mendapatkan kapasitas optimal dari *distributed generation* (DG) pada busnya menggunakan persamaan (2.34) kemudian mencari rugi – rugi

daya aktif total dengan menggunakan kapasitas optimal dari *distributed generation* (DG) pada masing – masing bus secara bergantian. Perhitungan rugi – rugi saat *distributed generation* (DG) ditempatkan secara bergantian membutuhkan banyak solusi aliran daya, sesuai dengan jumlah bus pada sistem. Hal ini dikarenakan saat *distributed generation* (DG) dipasangkan pada sistem, maka nilai dari *loss coefficients* akan berubah, karena bergantung dari variabel tegangan dan sudut fasa. Oleh karena itu digunakan metode pendekatan yang akan dengan mudah menghitung perkiraan rugi – rugi, yang bertujuan untuk mendapatkan lokasi penempatan *distributed generation* (DG) terbaik. [15]

Hasil numerik menunjukkan bahwa perkiraan rugi – rugi mengikuti pola yang sama dengan rugi – rugi yang dihitung secara akurat. Ini berarti bahwa, jika rugi – rugi akurat dari aliran daya memberikan nilai minimum pada suatu bus, maka nilai perkiraan rugi – rugi juga akan menjadi minimum pada bus tersebut. Ini dibuktikan pada hasil simulasi yang terdapat pada Gambar 2.3. Hal yang berbeda adalah nilai rugi – ruginya, yang bukan menjadi masalah untuk penentuan lokasi. Metode ini dapat mengurangi komputasi dan menghemat waktu. [15]





Gambar 2.3 Grafik Perbandingan Rugi – Rugi Akurat dan Perkiraan

2.9 MATLAB

MATLAB singkatan dari *MATrix LABORatory*, merupakan bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh *The Mathwork. Inc.* Program MATLAB merupakan program interaktif yang digunakan untuk melakukan perhitungan numerik keteknikan, komputasi simbolik, visualisasi, grafis, analisis data matematis, statistika, simulasi dan pemodelan dengan dasar matriks dan bidang ilmu pengetahuan dan teknik rekayasa. [16]

MATLAB menyediakan sejumlah fasilitas, diantaranya: [16]

1. Manipulasi mudah untuk membentuk matriks

sejumlah rutin yang mudah diakses dan dimodifikasi

fasilitas canggih untuk mendapatkan gambar berdimensi dua atau tiga



4. Kemudahan untuk menuliskan program yang singkat, sederhana, dan dapat dikembangkan sesuai kebutuhan.

Karakteristik MATLAB adalah sebagai berikut: [16]

1. Bahasa pemrogramannya didasarkan pada matriks (baris dan kolom)
2. Program MATLAB lebih lambat karena bahasanya langsung diartikan
3. *Automatic memory management*, kita tidak harus mendeklarasikan *arrays* terlebih dahulu
4. Tersusun rapi
5. Memiliki waktu pengembangan program yang lebih cepat dibandingkan bahasa C dan *Fortran*
6. Dapat diubah ke bahasa C lewat Matlab Compiler untuk efisiensi yang lebih baik
7. Tersedia banyak *toolbox* untuk aplikasi – aplikasi khusus.

2.9.1 PSAT

PSAT (*Power System Analysis Toolbox*) adalah perangkat lunak berbasis MATLAB yang programnya dijalankan pada perangkat lunak MATLAB. Program semacam ini dikenal sebagai *toolbox*. PSAT dibuat dan dikembangkan oleh Federic

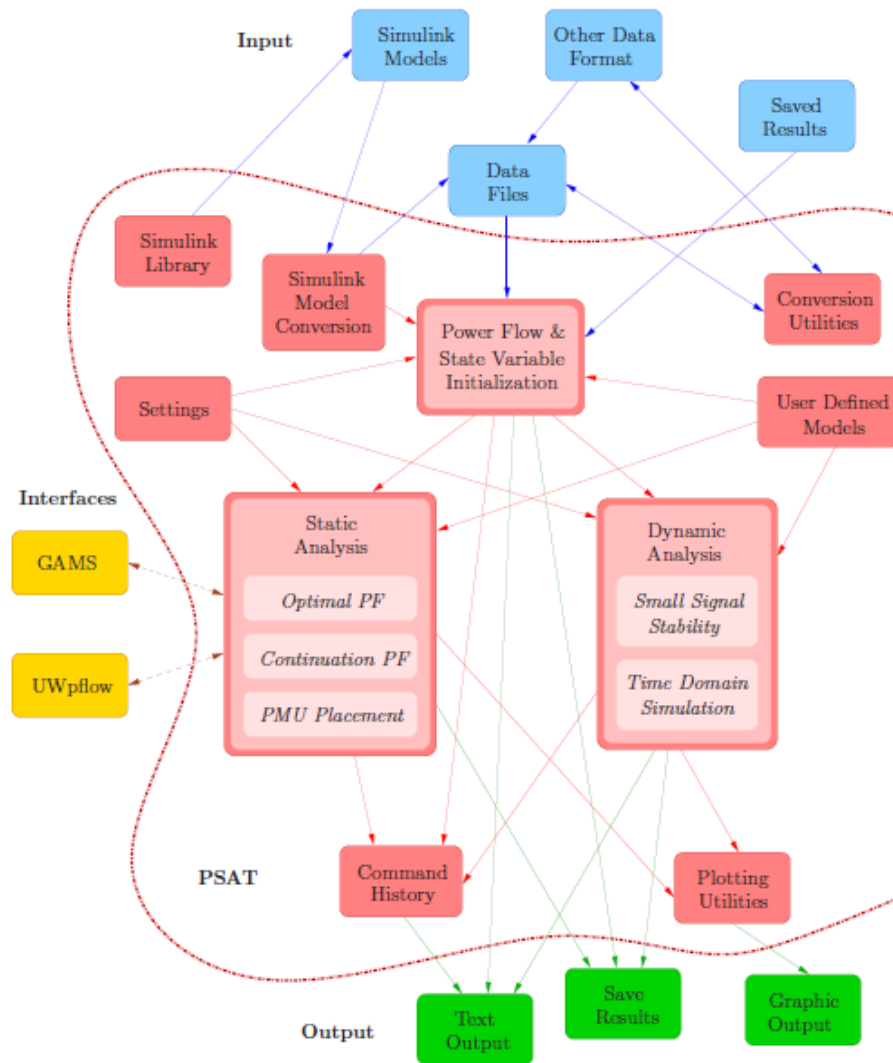
sejak tahun 2001 dan mulai dipublikasikan pada tahun 2002. Perangkat



lunak ini merupakan perangkat lunak yang bersifat gratis dan *open source* sehingga dapat diunduh gratis dan dikembangkan secara bebas. [17]

PSAT dapat digunakan untuk studi aliran daya atau *power flow* (PF), studi aliran daya kontinyu *Continuation Power Flow* (CPF) yang dapat memberikan kurva P-V untuk analisis kestabilan terganggu, aliran daya optimal atau *optimal power flow* (OPF), *small signal stability analysis* (SSSA) dan *time domain simulation* (TDS). Dari sisi tampilan PSAT juga mendukung *graphical user interface* (GUI) dan *graphical network construction* (CAD). Gambar 2.4 menunjukkan skema kerja dari PSAT dalam melakukan berbagai macam simulasi. Mulai dari jenis berkas data masukan sampai dengan jenis keluaran data. [17]





Gambar 2.4 Skema Kerja PSAT

