



**OPTIMASI PEMASANGAN KAPASITOR PADA SISTEM DISTRIBUSI
MAKASSAR**



TUGAS AKHIR

Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan

Program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

Makassar

Oleh:

ST. RIZKI DZULALYA SEBRILLIANI

D411 16 019

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2020



LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

OPTIMASI PEMASANGAN KAPASITOR PADA SISTEM DISTRIBUSI MAKASSAR

Disusun Oleh:

ST. RIZKI DZULALYA SEBRILLIANI
D41116019

Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Pernyataan untuk Menyelesaikan

Program Strata-1 pada Sub-Program Teknik Energi.

Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Makassar, 07 Juli 2020

Disahkan Oleh:

Pembimbing I

Dr. Indar Chaerah Gunadin, S.T., MT.
NIP. 19731118 199803 2 001

Pembimbing II

Ir. Hj. Zaenab Muslimin, MT
NIP. 19660201 199202 2 002

Mengetahui,
Rt. Ketua Departemen Teknik Elektro

Prof. Baharuddin Hamzah, ST., M.Arch., Ph.D
NIP. 1969030819951210011



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama St. Rizki Dzulalya Sebrilliani, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “**Optimasi Pemasangan Kapasitor 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 temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Makassar, 30 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,

St. Rizki Dzulalya Sebrilliani
NIM : D411 16 019



ABSTRAK

St. Rizki Dzulalya Sebrilliani, Optimasi Pemasangan Kapasitor Pada Sistem Distribusi Makassar (dibimbing oleh Indar Chaerah Gunadin dan Zaenab Muslimin)

Pemasangan kapasitor pada sistem distribusi merupakan salah satu cara untuk mengatasi gangguan pada sistem distribusi seperti jatuh tegangan, faktor daya menurun dan bertambahnya rugi-rugi daya. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan penempatan dan kapasitas dari kapasitor untuk memperbaiki jatuh tegangan dan meminimalkan rugi-rugi daya pada sistem distribusi. Studi kasus yang digunakan adalah sistem distribusi Makassar Feeder Kima. Simulasi pemasangan kapasitor pada sistem distribusi Makassar Feeder Kima dilakukan dengan menggunakan *toolbox* PSAT pada software MATLAB. Hasil simulasi menunjukkan bahwa untuk memperbaiki kondisi sistem distribusi Makassar Feeder Kima maka diperlukan 70 kVAR pada Bus 32, 142 kVAR pada Bus 42 dan 283 kVAR pada Bus 73. Setelah pemasangan kapasitor pada sistem distribusi Makassar Feeder Kima, menaikkan tegangan pada Bus 32 menjadi 0.94943 p.u, tegangan pada Bus 42 menjadi 0.94985 p.u dan tegangan pada Bus 73 menjadi 0.94784 p.u. Uji keandalan kapasitor ketika dipasang pada beban rendah (25%), menaikkan tegangan hingga 1.02 p.u sehingga nilai tegangan ini masih berada dalam batas toleransi tegangan yang diijinkan. Dengan pemasangan kapasitor ini juga mengurangi rugi-rugi daya sebesar 17.30435% dimana sebelumnya rugi-rugi dayanya sebesar 0.00115 p.u atau 0.115 MW.

Kata kunci: kapasitor shunt, nilai tegangan, rugi-rugi daya, optimasi pemasangan kapasitor, PSAT.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan rahmat serta kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Optimasi Pemasangan Kapasitor Pada Sistem Distribusi Makassar”.

Tujuan penulisan skripsi ini ialah untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelas Sarjana Teknik (ST) bagi mahasiswa S1 di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak untuk menyempurnakan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa terdapat berbagai kesulitan. Namun, berkat ketekunan dan usaha yang disertai dengan doa, penulisan skripsi ini akhirnya dapat terselesaikan. Penyusunan skripsi ini juga tidak terlepas dari bantuan, dukungan, dorongan serta bimbingan dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal tersebut, penulis sewajarnya menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orangtua yang sangat saya cintai, yang telah memberikan dukungan baik dari segi moril maupun materi.
2. Saudara kembar saya, Alma, yang banyak membantu dan memberi dukungan dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT** selaku Kepala Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.



4. Bapak **Dr. Indar Chaerah Gunadin, ST, MT** selaku Pembimbing I dan Ibu **Ir. Hj. Zaenab Muslimin, MT** selaku Pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak **Prof Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT** dan Ibu **Dr. Ir. Sri Mawar Said, MT** selaku dosen penguji skripsi saya yang telah memberikan saran dan kritik dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Seluruh dosen dan staf pengajar Departemen Teknik Elektro atas segala ilmu, bantuan dan kemudahan yang diberikan selama kami menempuh proses perkuliahan.
7. Seluruh staf pegawai Departemen Teknik Elektro yang telah banyak membantu dan memberi kemudahan selama kami menempuh proses perkuliahan.
8. Seluruh pihak PLN UP3 Makassar Utara.
9. Anggota KI2A (Kiki, Icha dan Amel), teman berbagi kepanikan mulai dari lab sampai proses pengerjaan skripsi ini, yang banyak membantu juga menghibur selama ini.
10. Saudara Reyhan, yang telah banyak direpotkan oleh saya.
11. Anggota ETARBIV (Nita, Dhea, Pida, Kiki, Amel, Icha dan Shania), yang banyak memberi dukungan dan menghibur selama masa perkuliahan ini.



12. Teman-teman Lab Relay dan Pengukuran (Amin, Adnan, Kiki, Wira, Syahril, Syafiq, Amel, Reyhan, Arya, Shania, Adul, Icha dan Gafur), yang sama-sama sedang berjuang dengan skripsinya.
13. Teman-teman KP (Amin, Kiki, Amel, Reyhan, Fauzan, Restu, Shania, Icha, Gafur, Ryan) + Bill, terima kasih kenangan sebulan bersamanya.
14. Anggota Fvbll (tenri, Fikha, Echa, Alma), teman SMA ku yang sampai saat ini tetap menemani dan berbagi pengalaman tentang kegiatan masing-masing.
15. Kepada teman-teman EXCITER16.
16. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu dan mendukung dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat diterima sebagai sumbangan pikiran yang mendatangkan manfaat baik bagi penulis maupun pembacanya.

Makassar, 07 Juli 2020

Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Tenaga Listrik	5
2.1.1 Sistem Pembangkit.....	5
2.1.2 Jaringan Transmisi	6
2.1.3 Jaringan Distribusi	6
2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	6
2.2.1 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik.....	6
2.2.2 Struktur Jaringan Distribusi	7
2.2.3 Sistem Jaringan Distribusi Radial	11
2.3 Daya	12
2.3.1 Faktor Daya dan Daya Kompleks	14
2.3.2 Perbaikan Faktor Daya.....	16
2.4 Analisis Aliran Daya.....	18
2.5 Rugi-Rugi Jaringan	19
2.6 Kapasitor Shunt.....	19
2.7 MATLAB.....	23
2.8 Power System Analysis Toolbox (PSAT).....	24
BAB III METODE PENELITIAN	25



3.1	Jenis Penelitian.....	25
3.2	Lokasi Penelitian.....	25
3.3	Waktu Penelitian.....	25
3.4	Metode Penelitian	25
3.5	Data Penelitian.....	27
3.6	Peralatan Penelitian.....	34
3.7	Diagram Alir Penelitian	34
3.8	Diagram Alur	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		36
4.1	Hasil Simulasi Aliran Daya Sebelum Pemasangan Kapasitor	36
4.2	Optimasi Pemasangan Kapasitor	39
4.3	Simulasi Pemasangan Kapasitor	41
4.3.1	Simulasi Dengan Pemasangan Kapasitor Pada Bus 32.....	41
4.3.2	Simulasi Dengan Pemasangan Kapasitor Pada Bus 42.....	45
4.3.3	Simulasi Dengan Pemasangan Kapasitor Pada Bus 73.....	49
4.3.4	Simulasi Pemasangan Kapasitor Pada Kandidat Bus Secara Bersamaan	52
4.4	Contoh Perhitungan Pada Bus 32.....	57
4.4.1	Sebelum Pemasangan Kapasitor	57
4.4.2	Setelah pemasangan kapasitor	59
4.5	Simulasi Pemasangan Kapasitor Dengan Beban Yang Berubah-Ubah	62
4.5.1	Simulasi Pemasangan Kapasitor pada Beban 75%	63
4.5.2	Simulasi Pemasangan Kapasitor Dengan Pembebanan 50%	66
4.5.3	Simulasi Pemasangan Kapasitor Pada Pembebanan 25%.....	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		74
5.1	Kesimpulan	74
5.2	Saran	75
DAFTAR PUSTAKA		76
LAMPIRAN.....		77



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram satu garis sistem tenaga listrik.....	5
Gambar 2. 2 Gardu induk.....	8
Gambar 2. 3 Jaringan distribusi primer 20 kV	9
Gambar 2. 4 Gardu distribusi jenis tiang	10
Gambar 2. 5 Jaringan distribusi sekunder 220 V	11
Gambar 2. 6 Jaringan distribusi radial	11
Gambar 2. 7 Segitiga daya	15
Gambar 2. 8 Perubahan Nilai Q	17
Gambar 2. 9 Rangkaian ekivalen saluran dengan kapasitor shunt.....	20
Gambar 2. 10 Diagram fasor (a) Saluran tanpa kapasitor shunt (b) Saluran dengan kapasitor shunt.....	21
Gambar 2. 11 GUI PSAT	24
Gambar 3. 1 Single line diagram	28
Gambar 3. 2 Flowchart	35
Gambar 4. 1 Grafik nilai tegangan sistem distribusi Makassar Feeder Kima sebelum pemasangan kapasitor.....	38
Gambar 4. 2 Grafik perbandingan nilai tegangan sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor pada Bus 32.....	44
Gambar 4. 3 Perbandingan nilai tegangan sebelum dan sesudah pemasnagan kapasitor pada Bus 42	47



Gambar 4. 4 Perbandingan nilai tegangan sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor pada Bus 73 51

Gambar 4. 5 Grafik perbandingan nilai tegangan sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor pada Bus 32, Bus 42 dan Bus 73 55

Gambar 4. 6 Sebelum pemasangan kapasitor 57

Gambar 4. 7 Setelah pemasangan kapasitor..... 59



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data transformator sistem distribusi Makassar Feeder Kima	29
Tabel 3. 2 Data impedansi, jenis kabel dan panjang penghantar	30
Tabel 3. 3 Data beban sistem distribusi Makassar Feeder Kima	33
Tabel 4. 1 Nilai tegangan sebelum adanya pemasangan kapasitor	36
Tabel 4. 2 Besar kapasitas kapasitor yang akan dipasang.....	40
Tabel 4. 3 Nilai B yang akan diinput pada PSAT	41
Tabel 4. 4 Nilai tegangan dan kenaikan tegangan setelah pemasangan kapasitor pada Bus 32	42
Tabel 4. 5 Perbandingan rugi-rugi daya sistem.....	44
Tabel 4. 6 Nilai tegangan dan kenaikan tegangan setelah pemasangan kapasitor pada Bus 43	45
Tabel 4. 7 Perbandingan rugi-rugi daya sistem sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor pada Bus 42	48
Tabel 4. 8 Nilai tegangan dan kenaikan tegangan setelah pemasangan kapasitor pada Bus 73	49
Tabel 4. 9 Perbandingan rugi-rugi daya sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor pada Bus 73	51
Tabel 4. 10 Nilai tegangan dan kenaikan tegangan setelah pemasangan kapasitor pada Bus 32, Bus 42 dan Bus 73.....	52
Tabel 4. 11 Perbandingan rugi-rugi daya total.....	55
Tabel 4. 12 Perbandingan hasil simulasi.....	56



Tabel 4. 13 Data beban dengan pembebanan 75%	63
Tabel 4. 14 Perbandingan nilai tegangan sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor dengan pembebanan 75%	64
Tabel 4. 15 Data beban dengan pembebanan 50%	66
Tabel 4. 16 Perbandingan nilai tegangan sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor dengan pembebanan 50%	68
Tabel 4. 17 Data beban dengan pembebanan 25% pada beban yang akan dipasangkan kapasitor	70
Tabel 4. 18 Perbandingan nilai tegangan sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor pada beban 25%	71



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi menempati peringkat yang sangat penting sebagai kebutuhan umat manusia. Sejak berabad-abad yang lalu setiap individu, kelompok maupun Negara berjuang untuk memenuhi kebutuhannya akan energi menyebabkan energi menjadi langka dan harganya pun mahal. Salah satu bentuk energi yang sangat mudah dimanfaatkan adalah energi listrik. Energi listrik sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia, mulai dari lingkungan rumah tangga, industri, transportasi, bidang kesehatan serta berbagai bidang lainnya.

Suatu sistem tenaga listrik merupakan kesatuan dari beberapa sistem yaitu sistem pembangkitan, sistem transmisi, serta sistem distribusi tenaga listrik. Sistem tenaga listrik yang baik ialah sistem tenaga listrik yang memiliki keandalan tinggi, bersifat ekonomis dan aman. Keandalan yang tinggi tersebut dapat ditunjukkan oleh kemampuan dari sistem tersebut mampu menghasilkan dan menyalurkan energi listrik kepada konsumen secara kontinyu. Dalam penyediaan energi listrik yang kontinyu maka harus didukung dengan pemakaian dan penyediaan daya listrik yang seimbang dan tentunya dengan infrastruktur yang baik. Keamanan dari sistem tenaga listrik perlu diperhatikan, baik keamanan dari sisi peralatan yang digunakan maupun keamanan dalam penyaluran energi listrik.

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berguna untuk menyalurkan energi listrik dari sumber daya yang lebih besar agar sampai



ke konsumen. Suatu sistem distribusi harus memiliki keandalan agar kualitas daya tetap terjaga dan tersalurkan dengan baik.

Populasi manusia berdampak pada bertambahnya pertumbuhan beban dalam sistem tenaga listrik. Pertumbuhan beban tersebut diikuti dengan meningkatnya daya reaktif beban induktif pada bus beban maupun pada saluran. Pada sistem distribusi, jika suatu jaringan tidak memiliki sumber daya reaktif di daerah sekitar beban maka semua kebutuhan beban reaktifnya dipikul oleh gardu induk yang tersuplai dari generator pada pembangkit listrik, sehingga akan mengalir arus reaktif pada jaringan yang mengakibatkan faktor daya menurun, jatuh tegangan dan bertambahnya rugi-rugi daya. Pemasangan kapasitor secara shunt merupakan salah satu alternatif untuk mengkompensasi rugi daya reaktif yang disebabkan oleh beban induktif.

Oleh karena itu penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul **Optimasi Pemasangan Kapasitor Pada Sistem Distribusi Makassar.**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang menjadi kajian dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mengetahui optimasi pemasangan kapasitor pada beban yang ada di jaringan distribusi Makassar Feeder Kima?
2. Bagaimana pengaruh sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor terhadap nilai tegangan pada sistem distribusi Makassar Feeder Kima?



3. Bagaimana pengaruh sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor terhadap rugi-rugi daya pada sistem distribusi Makassar Feeder Kima?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan besar kapasitor yang terpasang untuk memperbaiki profil tegangan dan meminimalkan rugi-rugi daya pada sistem distribusi Makassar Feeder Kima.
2. Menentukan pengaruh sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor terhadap profil tegangan pada sistem distribusi Makassar Feeder Kima.
3. Menentukan pengaruh sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor terhadap rugi-rugi daya pada sistem distribusi Makassar Feeder Kima.

1.4 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil pembahasan yang terarah, maka penulis perlu membatasi masalah yang akan dibahas. Adapun batasan masalah pada skripsi ini adalah:

1. Tidak membahas analisa gangguan yang terjadi di sistem tenaga listrik.
2. Tidak membahas sistem proteksi dan harmonisa pada kapasitor.
3. Optimasi pemasangan kapasitor meliputi penentuan letak dan besar kapasitas daya kapasitor (kVAR) yang akan dipasang.
4. Tugas akhir ini hanya membahas pengaruh kapasitor terhadap profil tegangan dan rugi-rugi daya.



5. Software yang digunakan untuk membuat simulasi optimasi pemasangan kapasitor adalah *Power System Analysis Toolbox* (PSAT) pada MATLAB.
6. Terbatas pada Feeder Kima saja.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

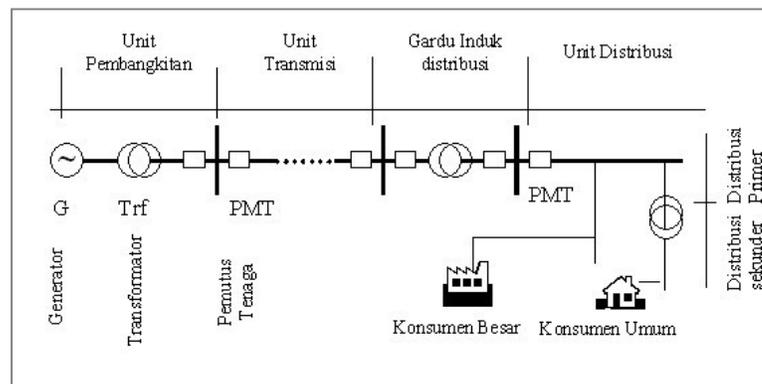
1. Memberikan informasi mengenai kondisi sistem distribusi Makassar Feeder Kima.
2. Memberikan saran kepada pihak terkait untuk mempertimbangkan penggunaan kapasitor untuk memperbaiki profil tegangan dan meminimalisir adanya rugi-rugi daya pada sistem distribusi Makassar Feeder Kima.

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 seperti yang tampak pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Diagram satu garis sistem tenaga listrik

2.1.1 Sistem Pembangkit

Sistem pembangkit ini adalah sistem dimana energi listrik diproses dan dihasilkan, yang terdiri atas penggerak mula (*prime mover*), yang berupa perangkat mekanis untuk memutar kumparan generator. Sistem pembangkit ini terdiri atas bermacam-macam jenis dilihat dari beragam sudut pandang misalnya dari segi keekonomisan, kontinuitas dan lain sebagainya.



2.1.2 Jaringan Transmisi

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

2.1.3 Jaringan Distribusi

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

2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

2.2.1 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik

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

1. Sistem Pendistribusian Langsung



Sistem pendistribusian langsung merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan secara langsung dari pusat pembangkit tenaga listrik dan tidak melalui jaringan transmisi terlebih dahulu. Sistem pendistribusian langsung ini digunakan jika pusat pembangkit tenaga listrik berada tidak jauh dari pusat-pusat beban, biasanya terletak di daerah pelayanan beban atau di pinggiran kota.

2. Sistem Pendsitribusian Tak Langsung

Sistem pendistribusian tak langsung merupakan penyaluran tenaga listrik yang dilakukan jika pusat pembangkit tenaga listrik jauh dari pusat-pusat beban, sehingga untuk penyaluran tenaga listrik memerlukan jaringan transmisi sebagai jaringan perantara sebelum dihubungkan dengan jaringan distribusi yang langsung menyalurkan tenaga listrik.

2.2.2 Struktur Jaringan Distribusi

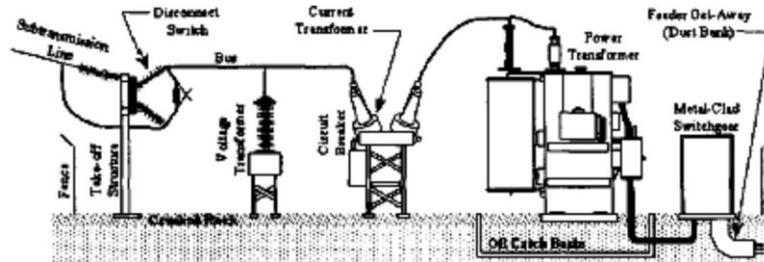
Sistem distribusi tenaga listrik terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

1. Gardu Induk atau Pusat Pembangkit Tenaga Listrik

Pada bagian ini jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara langsung, maka bagian pertama dari sistem distribusi tenaga listrik adalah pusat pembangkit tenaga listrik. Biasanya pusat pembangkit tenaga listrik terletak di pinggiran kota atau pada umumnya berupa Pusat Pembangkit Tenaga Diesel (PLTD). Untuk menyalurkan tenaga listrik ke pusat-pusat beban (konsumen) dilakukan dengan jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder.

Jika sistem pendistribusian tenaga listrik secara tak langsung, maka bagian pertama dari sistem pendistribusian tenaga listrik adalah gardu induk yang

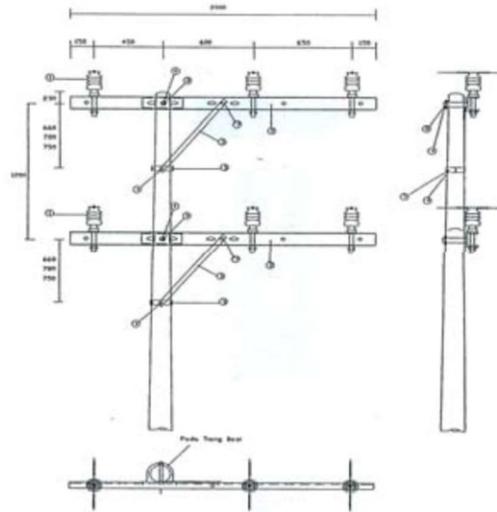
berfungsi menurunkan tegangan dari jaringan transmisi dan menyalurkan tenaga listrik melalui jaringan distribusi primer. Gambar gardu induk dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Gardu induk

2. Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan awal penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkit tenaga listrik ke konsumen untuk sistem pendistribusian langsung. Sedangkan untuk sistem pendistribusian tak langsung merupakan tahap berikutnya dari jaringan transmisi dalam upaya menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Jaringan distribusi primer atau jaringan distribusi tegangan tinggi (JDTT) memiliki tegangan sebesar 20 kV. Jaringan distribusi primer dapat dilihat pada Gambar 2.3.



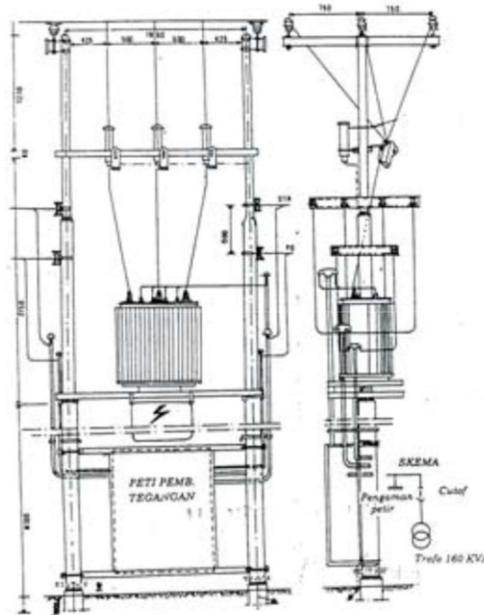
Gambar 2. 3 Jaringan distribusi primer 20 kV

Sifat pelayanan sistem distribusi sangat luas dan kompleks, karena konsumen yang harus dilayani mempunyai lokasi dan karakteristik yang berbeda. Sistem distribusi harus dapat melayani konsumen yang terkonsentrasi di kota, pinggiran kota dan konsumen di daerah terpencil. Sedangkan dari karakteristiknya ada konsumen perumahan dan industri. Sistem konstruksi saluran distribusi terdiri dari saluran udara dan saluran bawah tanah. Pemilihan konstruksi tersebut didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut : alasan teknis yaitu berupa persyaratan teknis, alasan ekonomis, alasan estetika dan alasan pelayanan yaitu kontinuitas pelayanan sesuai jenis konsumen.

3. Gardu Pembagi/Gardu Distribusi

Gardu distribusi berfungsi sebagai pengubah tegangan listrik dari jaringan distribusi primer menjadi tegangan terpakai yang digunakan untuk konsumen dan disebut sebagai jaringan distribusi sekunder. Kapasitas transformator yang

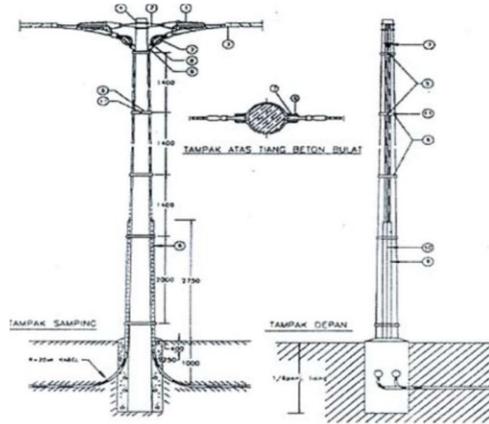
digunakan gardu pembagi ini tergantung pada jumlah beban yang akan dilayani dan luas daerah pelayanan beban. Gardu distribusi dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Gardu distribusi jenis tiang

4. Jaringan Distribusi Sekunder

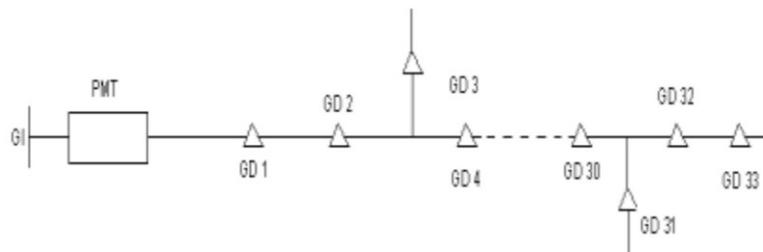
Jaringan distribusi sekunder atau jaringan distribusi tegangan rendah (JDTR) merupakan jaringan tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan konsumen. Oleh karena itu besarnya tegangan untuk jaringan distribusi ini 130/230 V dan 130/400 V untuk sistem lama atau 230/400 V untuk sistem baru. Tegangan 130 V dan 230 V merupakan tegangan antara fasa dengan netral, sedangkan tegangan 400 V merupakan fasa dengan fasa. Jaringan distribusi sekunder dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Jaringan distribusi sekunder 220 V

2.2.3 Sistem Jaringan Distribusi Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk yang paling sederhana, banyak digunakan dan murah. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang-cabangkan ke titik-titik beban yang dilayani seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Jaringan distribusi radial

Catu daya berasal dari satu titik sumber dan karena adanya pencabangan-pencabangan tersebut, maka arus beban yang mengalir disepanjang saluran menjadi tidak sama sehingga luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak sama karena arus yang paling besar mengalir pada



jaringan yang paling dekat dengan gardu induk ini ukuran penampang relatif besar dan saluran cabang-cabangnya makin ke ujung dengan arus beban yang lebih kecil mempunyai ukuran konduktornya lebih kecil pula. Spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah:

- a. Bentuknya sederhana.
- b. Biaya investasinya murah.
- c. Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
- d. Kontinuitas pelayanan daya kurang terjamin sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.

Untuk melokalisir gangguan pada bentuk radial ini biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman, fungsinya untuk membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi (Syahputra, 2017).

2.3 Daya

Daya dapat dihitung dengan

$$P = V \cdot I \cdot \cos \theta \quad (2.1)$$

Jika arus dan tegangan merupakan fungsi siklus, maka daya rata-rata (P) untuk suatu periode siklus tersebut dapat ditentukan besarnya dengan rumus

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \quad (2.2)$$



Dimana

P = Daya rata-rata (Watt)

T = Periode (Detik)

Tegangan dan arus fungsi sinus dinyatakan sebagai

$$v(t) = V_m \cos \omega t \quad (2.3)$$

$$i(t) = I_m \cos(\omega t - \phi) \quad (2.4)$$

Maka persamaan daya menjadi

$$p(t) = V_m I_m \cos \omega t \cos(\omega t - \phi)$$

$$p(t) = V_m I_m \frac{1}{2} [\cos(\omega t - \omega t + \phi) + \cos(\omega t + \omega t - \phi)]$$

$$p(t) = \frac{1}{2} V_m I_m \cos \phi + \frac{1}{2} V_m I_m \cos(2\omega t - \phi) \quad (2.5)$$

Harga rata-rata dari fungsi sinusoid yang berubah terhadap waktu untuk satu periode adalah sama dengan nol. Sehingga dari persamaan $p(t)$ hanya terdapat bentuk $\frac{1}{2} V_m I_m \cos \phi$ yang tidak bergantung terhadap waktu, maka bentuk yang ada:

$$P = \frac{1}{2} V_m I_m \cos \phi$$

$$P = VI \cos \phi \quad (2.6)$$

Dimana V dan I adalah harga rms atau harga efektif dari tegangan dan arus.



2.3.1 Faktor Daya dan Daya Kompleks

Dari pembahasan terdahulu dapat diketahui bahwa daya rata-rata bukan fungsi rms dari arus dan tegangan saja, tetapi ada unsur perbedaan sudut fasa arus dan tegangan. Jika arus dan tegangan dari persamaan sefasa $\phi = 0^\circ$, maka persamaan daya menjadi

$$P = VI \cos \phi = VI \quad (\text{W}) \quad (2.7)$$

Arus yang mengalir pada sebuah tahanan, akan menimbulkan tegangan pada tahanan tersebut sebesar

$$V_r = I_r r \quad (2.8)$$

Sehingga

$$P = V_r I_m \cos \phi \quad (2.9)$$

Karena tidak adanya beda fasa antara arus dan tegangan pada tahanan, maka sudut $\phi = 0^\circ$, sehingga

$$P = VI \quad (2.10)$$

Untuk induktor dan kapasitor, arus yang mengalir pada elemen-elemen ini masing-masing akan tertinggal dan terdahulu sebesar 90° terhadap tegangan

$$V_L = I_L j \omega L \quad (2.11)$$

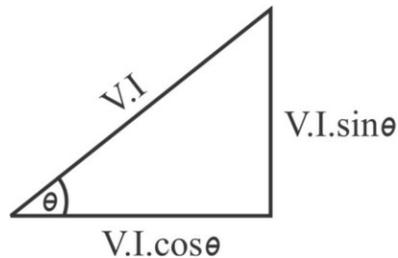
$$V_C = I_C \left(\frac{-j}{\omega C} \right) \quad (2.12)$$

Dimana $V_L; V_C; I_L; I_C$ adalah besaran-besaran fasor. Daya rata-rata elemen-elemen ini adalah nol.

Tegangan dikalikan dengan arus disebut daya semu. Daya rata-rata dibagi daya nyata disebut faktor daya. Untuk arus dan tegangan sinusoid, faktor daya dapat dihitung dengan rumus

$$\text{Faktor daya} = \frac{P}{VI} = \frac{VI \cos \phi}{VI} = \cos \phi \quad (2.13)$$

Hubungan faktor daya, P , dan S dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Segitiga daya

ϕ dinamakan sudut faktor daya, sudut ini menentukan kondisi terdahulu atau tertinggal tegangan terhadap arus. Bila sebuah beban diberi tegangan, impedansi dari beban tersebut akan menentukan besar arus dan sudut fasa yang mengalir pada beban tersebut. Dengan kata lain, faktor daya merupakan petunjuk yang menyatakan sifat suatu beban. Untuk efisiensi dan operasi, diusahakan faktor daya mendekati satu.

Persamaan daya kompleks adalah

$$S = V_a I'_a \quad (\text{VA}) \quad (2.14)$$

Dimana

S = Daya Kompleks



V_a dan I_a = besaran fasor tegangan dan arus

I'_a = konjugasi kompleks dari I_a

Jika V_a dan I_a dinyatakan sebagai

$$V_a = V \angle \phi_1$$

$$I_a = I \angle \phi_2$$

Persamaan S menjadi:

$$S = VI \cos(\phi_1 - \phi_2) + jVI \sin(\phi_1 - \phi_2) \quad (2.15)$$

$\phi_1 - \phi_2$ adalah sudut yang menyatakan besarnya sudut tegangan yang mendahului arus. Bilangan nyata dari bilangan kompleks S didefinisikan sebagai daya rata-rata (P). bagian imajiner dari bilangan kompleks S didefinisikan sebagai daya reaktif (Q) (Zuhal, 1988).

2.3.2 Perbaikan Faktor Daya

Perbaikan faktor daya dengan kapasitor dilakukan dengan menentukan kapasitas kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya beban. Kapasitas kapasitor dapat dihitung sebagai berikut:

Daya reaktif pada pf awal

$$Q_1 = P \times \tan \theta_1 \quad (2.16)$$

Daya reaktif pada pf yang diperbaiki



$$Q_2 = P \times \tan \theta_2 \quad (2.17)$$

Sehingga rating kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya adalah

$$Q_C = Q_1 - Q_2$$
$$Q_C = P \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \quad (2.18)$$

Keterangan:

P = Daya aktif (Watt)

Q_1 = Daya reaktif awal (VAR)

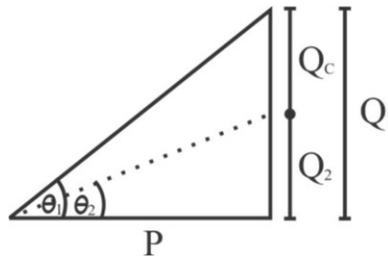
Q_2 = Daya reaktif yang diinginkan (VAR)

Q_C = Daya reaktif yang diperlukan (VAR)

θ_1 = Sudut faktor daya awal

θ_2 = Sudut faktor daya yang diinginkan (Nizam & Rijanto, 2019).

Hubungan perubahan nilai Q dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Perubahan Nilai Q



2.4 Analisis Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan bagian yang sangat penting dalam menganalisis aliran daya suatu sistem sebelum jaringan tenaga listrik dibuat. Pada tahap merencanakan pembangunan jaringan tenaga, hasil dari analisis aliran daya menjadi dasar untuk pertimbangan dalam pembangunan. Permasalahan yang ditemukan pada sistem tenaga listrik dapat dirumuskan solusinya berdasarkan hasil studi aliran daya. Besaran yang dianalisis pada studi aliran daya adalah besar dan sudut fasa tegangan pada masing-masing bus, serta daya aktif dan daya reaktif yang mengalir pada masing-masing saluran. Perhitungan aliran daya dilakukan dalam keadaan beban seimbang dengan tujuan sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui komponen jaringan sistem tenaga listrik pada umumnya.
- b. Mengetahui besarnya tegangan pada setiap bus dari suatu sistem tenaga listrik.
- c. Menghitung aliran-aliran daya, baik daya nyata maupun daya reaktif yang mengalir dalam setiap saluran.
- d. Kerugian-kerugian sistem yang optimal.
- e. Perbaikan dan pergantian ukuran konduktor dan tegangan sistem.

Besaran tegangan dan sudut fasa, daya aktif dan daya reaktif tergantung dari tipe bus yang digunakan. Beberapa tipe bus tersebut adalah

- a. Bus generator : besaran yang diketahui adalah daya aktif dan tegangan dan besaran yang dicari adalah daya reaktif dan sudut tegangannya. Tipe bus disebut bus P-V.



- b. Bus beban : besaran yang diketahui adalah daya aktif dan daya reaktif dan besaran yang dicari adalah tegangan dan sudut tegangannya. Tipe bus ini disebut P-Q.
- c. Bus referensi : besaran yang diketahui adalah tegangan dan sudut fasa tegangan. Biasanya sudut tegangannya adalah 0° serta tipe bus ini disebut juga bus swing ataupun *slack bus* (Hutauruk, 2018).

2.5 Rugi-Rugi Jaringan

Jatuh tegangan merupakan penurunan tegangan dimulai dari penyulang sampai sepanjang saluran jaringan tegangan menengah. Fenomena tersebut disebabkan kawat saluran yang mempunyai nilai resistansi, induktansi dan kapasitansi sepanjang saluran, maka akan terjadi penurunan tegangan. Sedangkan rugi daya adalah selisih antara daya yang dibangkitkan atau dialirkan dari gardu induk dengan daya yang terjual ke pelanggan listrik. Rugi-rugi daya merupakan sifat yang tidak dapat dihindari, tetapi hanya dapat diminimalkan (Hutauruk, 2018).

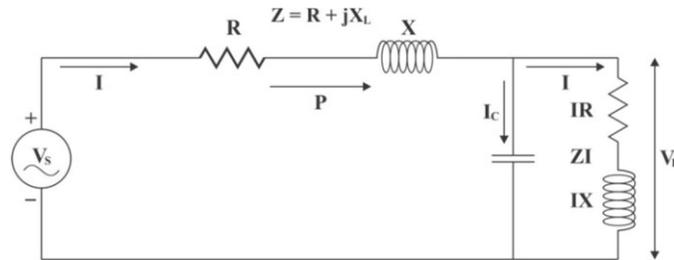
Untuk menentukan besarnya efisiensi daya menggunakan rumus sebagai berikut:

$$(\%) = \frac{\Delta S(kVA)}{S_{kirim}} \times 100 \% \quad (2.19)$$

2.6 Kapasitor Shunt

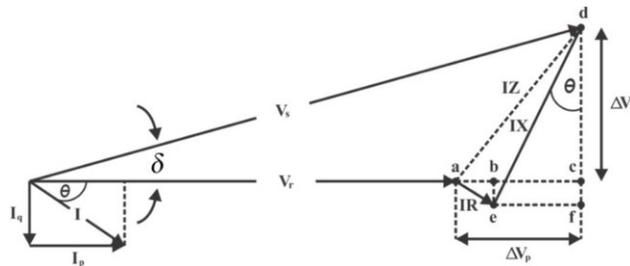
Pembangkit daya reaktif pada perencanaan daya dan penyuplaiannya ke beban yang berjarak jauh adalah tidak ekonomis, tetapi dapat dengan mudah

disediakan oleh kapasitor *shunt* yang ditempatkan pada pusat beban. Kapasitor *shunt* pada jaringan (Gambar 2.9) dapat menyuplai daya reaktif negatif yang dapat berpengaruh untuk mengurangi daya aliran reaktif di dalam jaringan sehingga dapat merubah karakteristik arus *lagging* dari beban reaktif induktif menjadi arus *leading*.

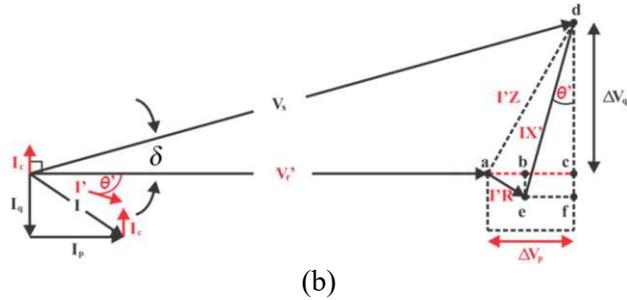


Gambar 2. 9 Rangkaian ekivalen saluran dengan kapasitor shunt

Maka, dengan pemasangan kapasitor *shunt* pada saluran sisi penerima, dengan arus kapasitif (I_c) dengan komponen arus reaktif yang *leading* 90° terhadap tegangan, maka drop tegangan dapat diturunkan seperti gambar diagram fasor berikut:



(a)



Gambar 2. 10 Diagram phasor (a) Saluran tanpa kapasitor shunt (b) Saluran dengan kapasitor shunt

Pada rangkaian ekivalen saluran tanpa menggunakan kapasitor *shunt* dengan faktor daya *lagging* memiliki persamaan drop tegangan berikut:

$$\Delta V_p = IR \cos \theta + IX \sin \theta \quad (2.20)$$

Maka setelah ditambahkan dengan kapasitor *shunt*, nilai drop tegangan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta V_p' = IR \cos \theta' + (I_L X_L - I_C X_C) \sin \theta' \quad (2.21)$$

Atau persamaan dapat disederhanakan menjadi:

$$\begin{aligned} \Delta V_p &= IR \cos \theta' + (I_L X_L - I_C X_C) \sin \theta' \\ &= IR \cos \theta' + (I_L X_L \sin \theta' - I_C X_C \sin \theta') \\ &= R \left(\frac{P}{V_r'} \right) + X_L \left(\frac{Q_L}{V_r'} \right) - X_C \left(\frac{Q_C}{V_r'} \right) \\ \Delta V_p &= \frac{P}{V_r'} R + \frac{Q_L X_L - Q_C X_C}{V_r'} \quad (2.22) \end{aligned}$$

Dengan keterangan gambar dan persamaan:

- V_S = Tegangan dari sisi pengirim
- V_r = Tegangan pada sisi penerima
- R = Resistansi saluran



- X = Reaktansi saluran
- X_L = Reaktansi Induktif
- X_C = Reaktansi kapasitif
- I_P = Komponen arus aktif
- I_Q = Komponen arus reaktif induktif
- IR = Komponen real arus
- IX = Reaktansi jaringan
- P = Daya aktif yang dikirimkan ke beban
- Q = Daya reaktif yang dikirimkan ke beban

Ketika dipasang kapasitor *shunt*, terjadi injeksi arus I_C pada sistem sehingga faktor daya meningkat dan I_L berkurang. Hal ini mengakibatkan drop tegangan berkurang ($I_L \times X_L$) sehingga V_r meningkat. Pernyataan ini seperti dijelaskan pada Gambar 2.10 a sehingga dapat dituliskan persamaan sebagai berikut:

$$V_r = V_S - (IR + jIX) \tag{2.23}$$

Kemudian melalui Gambar 2.8 b, dijelaskan bahwa:

$$V_r' = V_S - (IR + jI_L X_L - jI_C X_C) \tag{2.24}$$

Maka melalui kedua persamaan tersebut, diperoleh selisih drop tegangan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta V_r &= V_r' - V_r \\ &= [V_S - (IR + jI_L X_L - jI_C X_C)] - [V_S - (IR + jI_L X_L)] \\ &= jI_C X_C \end{aligned} \tag{2.25}$$



Batas penurunan tegangan maksimum pada beban penuh yang diijinkan di beberapa titik sambung pada jaringan distribusi adalah : Tegangan sistem distribusi harus dijaga pada batas-batas kondisi normal yaitu maksimal +5% dan minimal -10% dari tegangan nominal (Manurung, Sukerayasa, & Hartati, 2017).

2.7 MATLAB

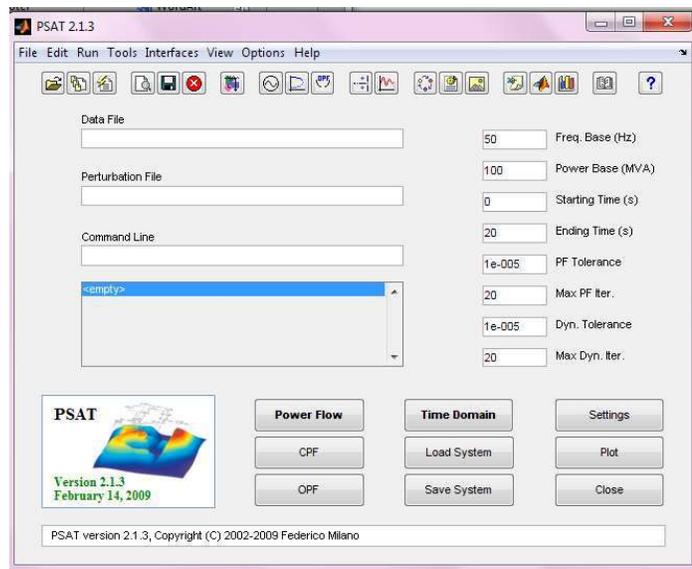
MATLAB (*Matrix Laboratory*) adalah suatu program untuk analisis dan komputasi numeric dan merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks. Pada awalnya, program ini merupakan *interface* untuk koleksi rutin numerik dari proyek LINPACK dan EISPACK dan dikembangkan menggunakan bahasa FORTRAN. Namun sekarang merupakan produk komersial dari perusahaan Mathworks, Inc. yang dalam perkembangan selanjutnya dikembangkan menggunakan bahasa C++ dan *assembler*. MATLAB banyak digunakan pada:

1. Matematika dan komputansi.
2. Pengembangan dan algoritma.
3. Pemrograman modeling, simulasi dan pembuatan *prototype*.
4. Analisa data, eksplorasi dan visualisasi.
5. Analisis numerik dan statistik.
6. Pengembangan aplikasi teknik.



2.8 Power System Analysis Toolbox (PSAT)

PSAT adalah *toolbox* MATLAB yang digunakan untuk menganalisis dan mengendalikan sistem tenaga listrik. PSAT sudah digunakan dari 50 negara di dunia. Untuk menampilkan PSAT di MATLAB, *user* hanya menetikkan PSAT pada *command window* di MATLAB dan akan muncul tampilan *Graphical User Guide* (GUI) seperti pada Gambar 2.11 (Hutauruk, 2018).



Gambar 2. 11 GUI PSAT