

**STUDI PENEMPATAN KAPASITOR
UNTUK PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN
DI PENYULANG KANGKUNG GI MENGGALA**

(Skripsi)

Oleh
Achmad Taufik Prabowo



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

ABSTRAK

STUDI PENEMPATAN KAPASITOR UNTUK PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN DI PENYULANG KANGKUNG GI MENGGALA

Oleh

Achmad Taufik Prabowo

Dalam tugas akhir ini alokasi daya reaktif didapat dengan menggunakan metode pemrograman linier. Salah satu cara untuk memperbaiki profil tegangan adalah dengan menempatkan nilai kapasitor yang optimal di lokasi yang tepat pada sistem distribusi.

Profil tegangan sebelum diinjeksi daya reaktif mengalami penurunan pada bus 4 yakni bernilai 0.7572 p.u sampai bus akhir yaitu bus 191 sebesar 0,6037 p.u, profil tegangan di bawah standar PLN yakni -5% dari tegangan nominal.

Hasil dari simulasi dengan kapasitor bank, terlihat bahwa profil tegangan sesudah di pasang kapasitor mengalami kenaikan dari bus awal yang terdapat beban yaitu sebesar 1,0048 p.u dan sampai bus akhir yaitu bus 191 profil tegangan berada pada 0.9731 p.u tegangan bus tetap berada pada standar PLN yaitu -5%. Dalam penyulang Kangkung ini kondisi awal pembebanan yaitu untuk beban aktif sebesar 1,408 MW dan beban reaktif 1,668 MVar. Setelah dilakukan simulasi pemasangan kapasitor di bus 2 sampai 13 maka rugi-rugi beban aktif dan reaktif dapat di minimalisir besar beban aktif sampai 0,101 MW dan beban reaktif diminimalisir sampai 0,100 MVar.

Kata kunci : Jatuh Tegangan, Kapasitor, Penyulang Kangkung

ABSTRACT

CAPASITOR PLACEMENT STUDY FOR IMPROVING VOLTAGE QUALITY AT KANGKUNG FEEDER MENGGALA SUBSTATION

BY

ACHMAD TAUFIK PRABOWO

In this undergraduate thesis allocation of reactive power is obtained by using linear programming method. One way to improve the voltage profile is to place the optimal capacitor value in the right location in the distribution system.

Voltage profile before the injection of reactive power decreased at bus 4 that is worth 0.7572 p.u until the end of the bus is a bus 191 for 0.6037 p.u, PLN standard voltage profile is under -5% of the nominal voltage.

The results of simulation with a capacitor bank, it shown that after the installation of capacitor voltage profile is increased from the initial bus load contained in the amount of 1.0048 pu and until the end of that bus 191 bus voltage profile is at 0.9731 pu bus voltage remains at PLN standards that -5%. In this Kangkung feeder load the initial condition is for the active load of 1,408 MW and 1,668 MVAR reactive load. After simulating the installation of capacitors on a bus 2 to 13, the loss of active and reactive load can be minimized active load up to 0.101 MW and reactive load up to 0,100 MVAR.

Keywords: Voltage drop, Capasitor, Kangkung feeder

**STUDI PENEMPATAN KAPASITOR
UNTUK PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN
DI PENYULANG KANGKUNG GI MENGGALA**

Oleh

Achmad Taufik Prabowo

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2016

Judul Skripsi

**: STUDI PENEMPATAN KAPASITOR
UNTUK PERBAIKAN KUALITAS
TEGANGAN DI PENYULANG KANGKUNG
GI MENGGALA**

Nama Mahasiswa

: Achmad Taufik Prabowo

Nomor Pokok Mahasiswa : 0915031077

Jurusan

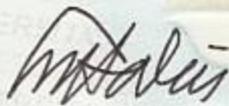
: Teknik Elektro

Fakultas

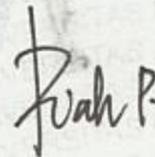
: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

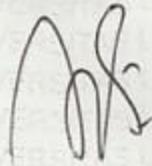


Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc.
NIP 19720923 200012 1 002



Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T.
NIP 19720923 200012 1 002

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro

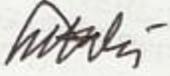


Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP 19731128 199903 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc.** 

Sekretaris

: **Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T.** 

Penguji

Bukan Pembimbing : **Osea Zebua, S.T., M.T.** 

2. Dekan Fakultas Teknik


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

NIP 19620717 198703 1 002 

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **17 Juni 2016**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh 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 dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 15 agustus 2016

Penulis,



Achmad Taufik Prabowo
NPM. 0915031077

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Bandar Lampung, pada tanggal 6 April 1991, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara, dari Bapak Sujoko dan Ibu Kuswati.

Penulis memasuki dunia pendidikan Taman Kanak-Kanak (TK) Eka dyansyah, Branti, Lampung Selatan, lulus pada tahun 1997, Sekolah Dasar (SD) di SDN 3 Bumi Agung, Lampung Selatan, lulus pada tahun 2003, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 10 Bandar Lampung, lulus pada tahun 2006, dan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) di SMKN 2 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2009.

Tahun 2009, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di lembaga kemahasiswaan yang ada di Jurusan Teknik Elektro yaitu sebagai anggota Divisi Sosial dan Ekonomi (Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro) pada tahun 2009-2011 dan anggota Divisi Penelitian dan Pengembangan Himatro pada tahun 2011-2012. Selain itu, penulis juga bergabung di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi sejak tahun 2012 dan menjadi asisten praktikum Teknik Tegangan Tinggi. Pada 1 Maret – 1 April 2013, Penulis melaksanakan Kerja

Praktik (KP) di PLTU Suralaya, Cilegon, Banten dengan mengangkat judul “Rele MULTILIN 269 Plus Sebagai Proteksi Motor Bertegangan 10 KV pada unit 5-7 UPT Suralaya PLTU Suralaya”.



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Karya ini kupersembahkan untuk

Papa dan Mama Tersayang

Sujoko dan Kuswati

Adikku Tercinta

Achmad Yuli Pratomo

Achmad Afif Fitrianto

Istri dan Anak-anakku tersayang

Meli Widya Wanti

Muhammad Arkan Prabowo

Abidzar Rafa Prabowo

Keluarga Besar, Dosen, Teman, dan Almamater.



MOTTO

*“Karena Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.
Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”
(Al-Quran, Surat Al – Insyirah, 94 : 5 – 6)*

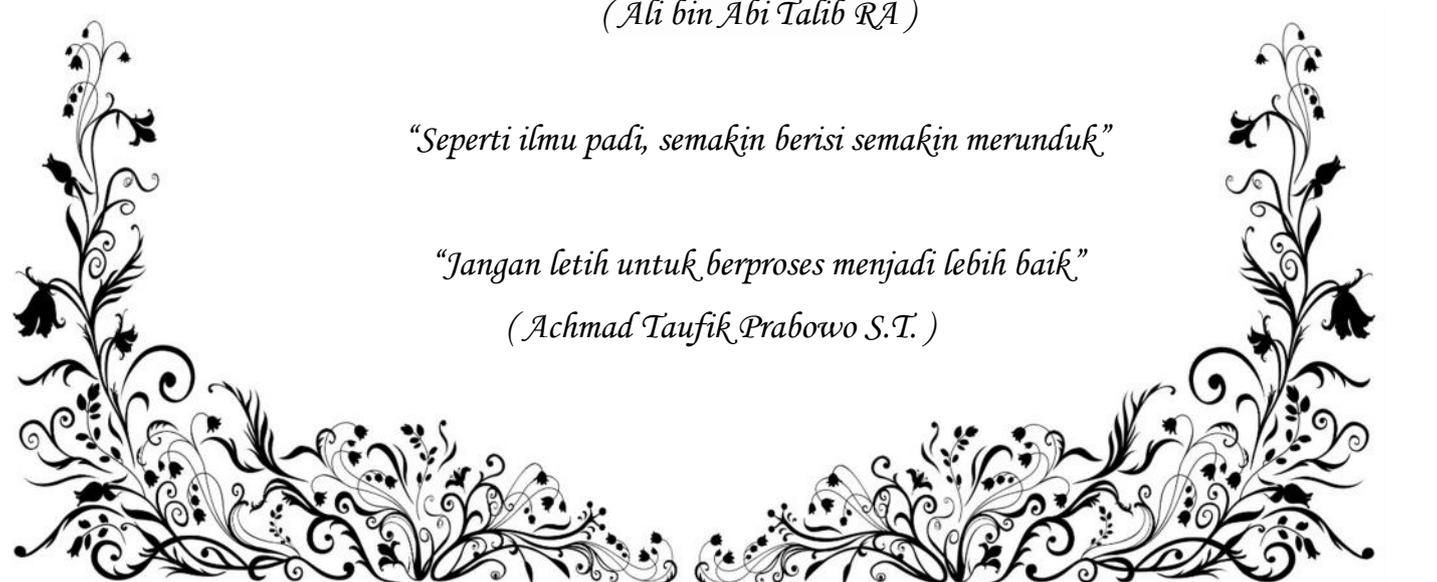
*“Dan janganlah kamu (merasa) lemah, dan jangan (pula) bersedih hati, sebab kamu paling tinggi (derajatnya), jika kamu orang yang beriman.”
(Al-Quran, Surat Ali Imran, 3 : 139)*

*“Apabila manusia telah meninggal dunia maka terputuslah semua amalannya kecuali tiga amalan : shadaqah jariyah, ilmu yang bermanfaat,
dan anak sholeh yang mendoakan dia.”
(HR. Muslim)*

*“Ilmu itu lebih baik daripada harta. Ilmu menjaga engkau dan engkau menjaga harta.
Ilmu itu penghukum (hakim) dan harta terhukum. Harta itu kurang apabila
dibelanjakan tapi ilmu bertambah bila dibelanjakan.”
(Ali bin Abi Talib RA)*

“Seperti ilmu padi, semakin berisi semakin merunduk”

*“Jangan letih untuk berproses menjadi lebih baik”
(Achmad Taufik Prabowo S.T.)*



SANWACANA

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala karunia, hidayah, serta nikmat yang diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi tugas akhir yang berjudul “STUDI PENEMPATAN KAPASITOR UNTUK PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN DI PENYULANG KANGKUNG GI MENGGALA”.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Dalam penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas oleh dukungan dan bantuan dari banyak pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Phd. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T.,M.T. selaku Pembimbing Akademik (PA), terima kasih atas bimbingan dan perhatiannya.

4. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc. selaku dosen Pembimbing Utama skripsi yang telah memberikan banyak ilmu, kritik dan saran, serta bimbingannya dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Ibu Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing Pendamping skripsi yang juga telah memberikan banyak ilmu, kritik dan saran, serta bimbingannya dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak Osea Zebua, S.T., M.T. selaku dosen penguji skripsi yang juga telah memberikan banyak ilmu, kritik dan saran, serta bimbingannya dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Seluruh dosen dan karyawan Teknik Elektro Universitas Lampung yang telah memberikan masukan, dorongan dan ilmu yang sangat berarti bagi penulis.
8. Mas Abdurrahman Efendi, S.T., M.T. selaku PLP Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik dan Mba Anizar, S.T., terima kasih atas kerja sama, ilmu dan pengalamannya selama beberapa tahun belakangan ini.
9. Mama dan Papa yang selalu memberikan doa dalam sujudnya dan semangat serta kasih sayangnya selama ini.
10. Adikku Achmad Yuli Pratomo dan Achmad Afif Fitrianto yang selalu mendoakan dan mendukung tanpa henti.
11. Istriku Meli Widya Wanti yang selalu mendoakan dan memberikan semangat kepadaku.
12. Guru dan mentor dalam tugas akhir ini Muhamad Wahidi (Beta) dan Trisno Handoko terima kasih atas ilmu, semangat dan doanya selama ini.

13. Teman – Teman Teknik Elektro angkatan 2009 yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang memberikan dukungan sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini
14. Rekan - Rekan Penghuni BESBENG Iblis merah (Albet), Botoy (Dedy), SiModus (Riyo), Mbul (Rifqi), Batak (Binsar), uwak (Ari), mbeu (Rifqi), Koped Bulu (Fedrian), Ateng Babs (Unggul), Item (Ranny), Emak (Mardiah), Papua (Nisa), Helmi, Robert, Brando, Flesi, Idon terimakasih atas SEMUA yang telah dilewati bersama disaat detik – detik terakhir ini untuk saling menyayangi, menyemangati, dan menasehati agar mencapai kesuksesan bersama.
15. Rekan – rekan Himatro Unila, serta Kakak - Kakak dan Adik – Adik Tingkat di Jurusan Teknik Elektro.
16. Semua Pihak yang membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan. Penulis menerima kritik dan saran yang membangun dari semua pihak untuk. Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 30 April 2016

Achmad Taufik Prabowo

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
 BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Kerangka Pemikiran	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Hipotesis	4
1.7. Sistematika Penulisan	4
 BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Sistem Tenaga Listrik	6
2.2. Struktur Sistem Distribusi	7
2.3. Rugi-Rugi Jaringan	9
2.4. Daya Pada Sistem Tenaga	10
2.5. Studi Aliran Daya	11
2.6. Peranan Kapasitor dalam Penggunaan Energi Listrik	15
2.6.1 Proses Kerja Kapasitor	18

2.6.2 Pemasangan Kapasitor	19
2.6.3 Efek Dari Pemasangan Kapasitor Seri Dan <i>Shunt</i> (Paralel) Pada Saluran Distribusi	19
2.6.3.1 Efek Pemasangan Kapasitor Paralel (<i>Shunt</i>).....	20
2.6.3.2 Efek Pemasangan Kapasitor Seri	20
2.6.4 Perawatan Kapasitor.....	20
2.7. Linier Programing	21
2.7.1 Pembentukan Model Matematik	23
2.7.2 Syarat Linier Programing.....	26

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat	28
3.2. Alat dan Bahan	28
3.3. Metode Penelitian.....	28
3.4. Diagram Alir Penelitian	32
3.5. Algoritma Program	33
3.6 Diagram Alir Program.....	36

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Sistem Distribusi Listrik 20 KV Gardu Induk Menggala.....	37
4.2. Hasil Analisis Profil Tegangan.....	40
4.2.1. Profil Tegangan sebelum di Pasang Kapasitor	40
4.2.2. Profil Tegangan sesudah di Pasang Kapasitor.....	42

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.....	46
5.2. Saran	47

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Gambar 2.1. Tiga Komponen Utama dalam Penyaluran Tenaga Listrik ..	7
2. Gambar 2.2. Diagram Saluran Distribusi Tenaga Listrik	9
3. Gambar 2.3. Segitiga Daya.....	11
4. Gambar 2.4. Sistem n-bus Distribusi.....	12
5. Gambar 2.5. Representasi Tegangan Fasor dalam Bentuk Rectangular ...	13
6. Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	33
7. Gambar 3.1. Diagram Alir Program	37
8. Gambar 4.1. <i>Single line</i> Diagram Penyulang Kangkung Gardu Induk Menggala.....	42
9. ..Gambar 4.2. Grafik Profil Tegangan Sebelum di Pasang Kapasitor.....	44
10. Gambar 4.3 Profil Tegangan Setelah di Pasang Kapasitor.....	46
11. Gambar 4.4. Perbandingan Profil Tegangan.....	47

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Data Letak Penempatan Kapasitor Pada Penyulang Kangkung.....	45

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
 BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Kerangka Pemikiran	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Hipotesis	4
1.7. Sistematika Penulisan	4
 BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Sistem Tenaga Listrik	6
2.2. Struktur Sistem Distribusi	7
2.3. Rugi-Rugi Jaringan	9
2.4. Daya Pada Sistem Tenaga	10
2.5. Studi Aliran Daya	11
2.6. Peranan Kapasitor dalam Penggunaan Energi Listrik	15
2.6.1 Proses Kerja Kapasitor	18

2.6.2 Pemasangan Kapasitor	19
2.6.3 Efek Dari Pemasangan Kapasitor Seri Dan <i>Shunt</i> (Paralel) Pada Saluran Distribusi	19
2.6.3.1 Efek Pemasangan Kapasitor Paralel (<i>Shunt</i>).....	20
2.6.3.2 Efek Pemasangan Kapasitor Seri	20
2.6.4 Perawatan Kapasitor.....	20
2.7. Linier Programing	21
2.7.1 Pembentukan Model Matematik	23
2.7.2 Syarat Linier Programing.....	26

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat	28
3.2. Alat dan Bahan	28
3.3. Metode Penelitian.....	28
3.4. Diagram Alir Penelitian	32
3.5. Algoritma Program	33
3.6 Diagram Alir Program.....	36

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Sistem Distribusi Listrik 20 KV Gardu Induk Menggala.....	37
4.2. Hasil Analisis Profil Tegangan.....	40
4.2.1. Profil Tegangan sebelum di Pasang Kapasitor	40
4.2.2. Profil Tegangan sesudah di Pasang Kapasitor.....	42

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.....	46
5.2. Saran	47

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Dalam penyaluran energi listrik ada beberapa masalah yang dihadapi antara lain jatuh tegangan, faktor daya yang rendah dan rugi-rugi daya. Beban pada jaringan distribusi bisa berupa beban kapasitif maupun induktif, namun pada umumnya merupakan beban induktif. Apabila beban reaktif induktif semakin tinggi maka berakibat memperbesar jatuh tegangan, memperbesar rugi-rugi daya, menurunkan faktor daya dan menurunkan kapasitas penyaluran daya ^[1]. Namun adalah suatu hal yang sulit untuk mempertahankan tegangan konstan pada sistem distribusi karena jatuh tegangan akan terjadi pada semua bagian sistem dan akan berubah sesuai dengan adanya perubahan beban dan variasi beban. Salah satu cara untuk memperbaiki jatuh tegangan adalah dengan menempatkan nilai kapasitor yang optimal di lokasi yang tepat pada sistem distribusi. Kapasitor dipasang di lokasi yang tepat untuk mempertahankan tegangan dalam batas yang di izinkan sehingga jatuh tegangan dapat dikurangi ^[2]. Untuk mengurangi beban daya reaktif induktif diperlukan sumber daya reaktif kapasitif, salah satu diantaranya adalah dengan kapasitor yang dipasang secara paralel pada penghantar penyulang distribusi primer radial. Pemasangan kapasitor shunt tersebut menyebabkan arus yang mengalir pada penghantar menjadi lebih kecil, sehingga akan mengurangi

besarnya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada penyulang. Tujuan dari pemasangan kapasitor antara lain :

- a. Perbaikan faktor daya.
- b. Penambahan kapasitas penyaluran daya.
- c. Pengurangan rugi-rugi daya.
- d. Penurunan jatuh tegangan.

Berdasarkan literatur yang ada, didapatkan bahwa cara untuk mengetahui lokasi penempatan kapasitor yang bertujuan memperbaiki jatuh tegangan pada saluran distribusi dibagi menjadi dua yaitu:

- Metode analisis
- Metode program perhitungan

Metode program perhitungan ada banyak jenisnya, antara lain sistem fuzzy, *Genetik Algorithm*, dan *Linier programing*. Pada penelitian yang saya lakukan, metode yang di gunakan adalah *Linier Programing* ^[3].

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan antara lain:

1. Untuk mengetahui besarnya daya reaktif yang harus dikompensasi agar tegangan berada dalam batas $\pm 5\%$ ^[4].
2. Untuk mengetahui letak penempatan kapasitor bank yang akan dipasang pada penyulang Kangkung agar diperoleh hasil maksimal.
3. Membandingkan pengaruh yang terjadi pada penyulang Kangkung dengan dan tanpa kapasitor.

1.3. Kerangka Pemikiran

Pada sistem tenaga listrik, jaringan distribusi primer diperlukan untuk menyalurkan tenaga listrik yang berasal dari gardu induk menuju ke gardu distribusi. Jaringan distribusi primer 20 kV yang sangat panjang, akan menyebabkan rugi-rugi daya dan jatuh tegangan di saluran distribusi tersebut. Untuk mengatasi timbulnya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan yang dilakukan adalah dengan cara memasang kapasitor bank pada saluran yang mengalami gangguan. Dengan adanya pemasangan kapasitor bank diharapkan dapat mengurangi rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada penyulang Kangkung.

1.4. Batasan Masalah

Adapun dalam penelitian ini, penulis membatasi masalah pada point-point berikut:

1. Menentukan lokasi kapasitor bank di Penyulang Kangkung yang akan ditempatkan didekat *slack bus*.
2. Studi aliran daya yang digunakan adalah metode Newton-Rhapson.
3. Keadaan kondisi sistem dianggap seimbang (*balance system*).
4. Kapasitas kapasitor dibatasi mulai dari 0 – 200 kVar.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang akan kita dapat dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui jumlah bus dan lokasi yang harus dipasang kapasitor untuk meminimalisir jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada penyulang Kangkung.
2. Mengetahui profil tegangan sebelum dan sesudah dipasang kapasitor.

1.6. Hipotesis

Berdasarkan kajian teoritis terhadap penelitian yang dilakukan, dapat diambil hipotesis yaitu kompensasi daya reaktif menggunakan kapasitor bank pada saluran distribusi akan memperkecil jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada ujung saluran distribusi.

1.7. Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini dibagi ke dalam lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang dan masalah, tujuan penelitian, kerangka pemikiran, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis serta sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tentang teori pendukung yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini.

BAB III. METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, metode yang digunakan dan diagram penelitian yang digunakan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil dari penelitian yang telah dilakukan, mengetahui pengaruh penggunaan kapasitor bank untuk meminimalisir jatuh tegangan pada penyulang Kangkung.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir ini berisi kesimpulan dan saran setelah penulis melakukan penelitian dan berdasarkan dari hasil dan pembahasan yang telah dianalisis.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Tenaga Listrik ^[5,6]

Sistem tenaga listrik besar dan kompleks karena terdiri atas komponen peralatan seperti generator, transformator, beban dan alat-alat pengaman dan pengaturan yang saling dihubungkan membentuk suatu sistem yang digunakan untuk membangkitkan, dan menyalurkan energi listrik. Namun secara mendasar sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan atas 3 bagian utama yaitu :

1. Sistem Pembangkitan

Pusat pembangkit tenaga listrik (electric power station) biasanya terletak dekat dengan sumber energi yang digunakan seperti air dan batubara

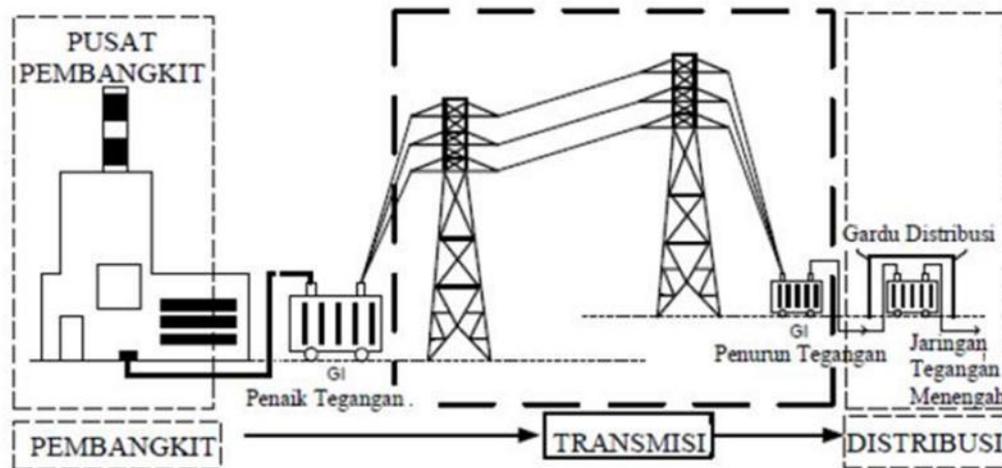
2. Sistem Transmisi

Menyalurkan energi listrik yang dibangkitkan dari pembangkit listrik yang jauh menuju gardu induk (GI).

3. Sistem Distribusi

Energi listrik dari gardu-gardu induk akan disalurkan oleh sistem distribusi sampai kepada konsumen.

Ketiga bagian utama (pembangkitan, transmisi, dan distribusi) tersebut menjadi bagian penting dan harus saling mendukung untuk mencapai tujuan utama sistem tenaga listrik yaitu penyaluran energi listrik kepada konsumen.



Gambar 2.1. Tiga Komponen Utama dalam Penyaluran Tenaga Listrik^[5]

2.2. Struktur Sistem Distribusi^[5,6]

Sistem distribusi tenaga listrik terdiri dari beberapa bagian, yaitu :

1. Gardu Induk

Bagian pertama dari sistem distribusi tenaga listrik adalah gardu induk. Biasanya Gardu induk terletak di pingiran kota. Untuk menyalurkan tenaga listrik ke pusat-pusat beban (konsumen) dilakukan dengan jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder yang berfungsi menurunkan tegangan dari jaringan transmisi dan menyalurkan tenaga listrik melalui jaringan distribusi primer.

2. Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan awal penyaluran tenaga listrik dari gardu induk 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 sistem sebesar 20 kV.

3. Jaringan Distribusi Sekunder

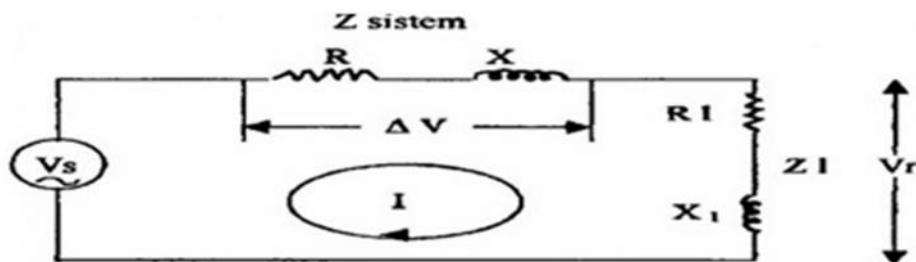
Jaringan distribusi sekunder atau jaringan distribusi tegangan rendah (JTR) merupakan jaringan tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan konsumen. Besarnya tegangan untuk jaringan distribusi 230/400 V. Tegangan 230 V merupakan tegangan antara fasa dengan netral, sedangkan tegangan 400 V merupakan tegangan fasa dengan fasa.

4. Gardu Pembagi / Gardu Distribusi

Berfungsi merubah tegangan listrik dari jaringan distribusi primer menjadi tegangan terpakai yang digunakan untuk konsumen dan disebut sebagai jaringan distribusi sekunder. Kapasitas transformator yang digunakan pada Gardu Pembagi ini tergantung pada jumlah beban yang akan dilayani dan luas daerah pelayanan beban. Bisa berupa transformator satu fasa dan bisa juga berupa transformator tiga fasa.

2.3. Rugi – Rugi Jaringan^[7-9]

Jatuh tegangan merupakan penurunan tegangan di mulai 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.



Gambar 2.2. Diagram Saluran Distribusi Tenaga Listrik

Dalam sistem perusahaan tenaga listrik, berbagai upaya dilakukan untuk memperkecil nilai jatuh tegangan dan rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran distribusi. Hal tersebut dilakukan karena selain merugikan perusahaan, juga merugikan pihak pelanggan sebagai pengguna jasa listrik yang selalu menuntut jasa layanan dengan kualitas yang baik. Beberapa langkah upaya mengurangi jatuh tegangan yang harus dilakukan untuk memperkecil jatuh tegangan dan rugi daya adalah :

- a. Membangun pembangkit pembantu.
- b. Membangun gardu induk baru dan jaringan baru.
- c. Merubah jaringan 1Ø menjadi 3Ø.
- d. Pemindahan beban ke penyulang lain.
- e. Penyeimbangan beban.
- f. Pengaturan tegangan penyulang menggunakan alat pengatur tegangan.
- g. Memperbesar penampang hantaran.
- h. Pemasangan kapasitor.

2.4. Daya Pada Sistem Tenaga^[7-9]

Pada sistem tenaga dikenal 3 macam daya yaitu:

- Daya aktif (P) (*Watt*)
- Daya reaktif (Q) (*VAR*)
- Daya kompleks (S) (*VA*)

Dimana secara umum persamaan dari ketiga jenis daya diatas dapat dituliskan sebagai berikut:

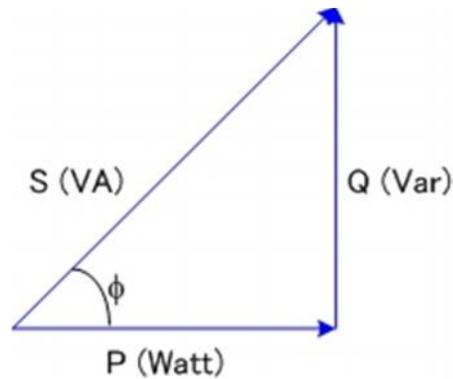
$$S = P + jQ \quad (1)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2)$$

$$P = S \times \cos \quad (4)$$

$$Q = S \times \sin \phi \quad (5)$$

Dibawah ini adalah gambar segitiga daya

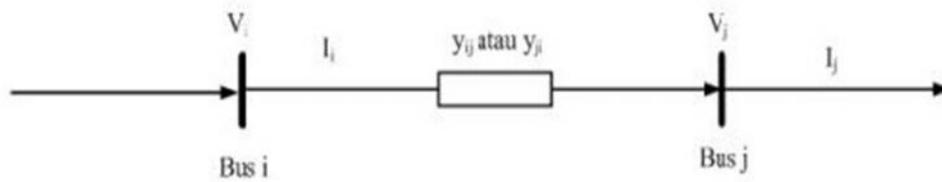


Gambar 2.3. Segitiga Daya

2.5. Studi Aliran Daya^[7-9]

Analisis aliran daya merupakan dasar untuk mempelajari sistem tenaga bahkan bentuk aliran daya merupakan inti dari analisis aliran daya. Studi aliran daya sangat berharga untuk berbagai alasan. Sebagai contoh analisis aliran daya memainkan peran kunci dalam perencanaan penambahan atau ekspansi pada transmisi dan fasilitas pembangkit. Solusi dari aliran daya sering menjadi titik awal untuk banyak jenis analisa sistem tenaga. Metode dasar yang akan dibahas dalam tugas akhir dengan menggunakan metode *Newton-Rhapson* dalam kawasan *rectangular*. Untuk memperoleh persamaan tegangan simpul, sebagaimana sistem tenaga listrik sederhana, dimana impedansinya dinyatakan dalam satuan per unit pada *base* (dasar) MVA, sementara untuk penyederhanaan resistansinya diabaikan. Berdasarkan hukum arus *Kirchoff* maka besaran-besaran impedansi dirubah menjadi besaran-besaran admitansi menggunakan persamaan berikut ^[6] :

$$Y_{ij} = \frac{1}{z_{ij}} = \frac{1}{r_{ij} + jx_{ij}} \quad (6)$$



Gambar 2.3. Sistem n-bus distribusi

Arus bus i pada gambar 3 adalah :

$$I_i = \sum_{j=1}^n V_j \cdot Y_{ij} \quad (7)$$

Persamaan daya bus i pada gambar 3 adalah :

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (8)$$

$$S_i = V_i \sum_{j=1}^n (Y_{ij} \cdot V_j)^* = V_i \sum_{j=1}^n Y_{ij}^* \cdot V_j^* \quad (9)$$

Dimana :

$$Y_{ij} = G_{ij} + B_{ij} \quad (10)$$

Dalam bentuk polar :

$$V_i = |V_i| \angle \delta_i \quad (11)$$

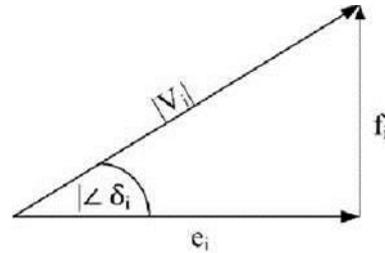
$$V_j = |V_j| \angle \delta_j \quad (12)$$

Nilai δ adalah sudut tegangan bus. Sedangkan dalam bentuk rectangular ^[9]:

$$V_i = e_i + jf_i \quad (13)$$

$$V_j = e_j + jf_j \quad (14)$$

Gambar 2. 4 memperlihatkan hubungan antara persamaan dalam bentuk polar dan rectangular.



Gambar 2.4. Representasi Tegangan Fasor dalam Bentuk Rectangular^[9]

$$P_i + jQ_i = |V_i| \angle \delta_i \sum_{j=1}^n |V_j| \angle -\delta_j (G_{ij} - j \cdot B_{ij}) \quad (15)$$

$$= \sum_{j=1}^n |V_i| \cdot |V_j| (G_{ij} - j \cdot B_{ij}) (\cos \delta_{ij} - j \cdot \sin \delta_{ij})$$

Untuk persamaan daya aktif dan daya reaktif-nya adalah.

$$P_i^{polar} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| (G_{ij} \cdot \cos \delta_{ij} + B_{ij} \cdot \sin \delta_{ij}) \quad (16)$$

$$Q_i^{polar} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| (G_{ij} \cdot \sin \delta_{ij} + B_{ij} \cdot \cos \delta_{ij}) \quad (17)$$

Untuk persamaan sederhana aliran daya dalam bentuk rectangular :

$$P_i + jQ_i = (e_i + jf_i) \sum_{j=1}^n (G_{ij} - jB_{ij})(e_j - jf_j) \quad (18)$$

Untuk persamaan daya aktif dan daya reaktif-nya adalah:

$$P_i^{Rect} = \sum_{j=1}^n e_i (e_j \cdot G_{ij} - f_j \cdot B_{ij}) + f_i (e_j \cdot B_{ij} + f_j \cdot G_{ij}) \quad (19)$$

$$Q_i^{Rect} = \sum_{j=1}^n f_i (e_j \cdot G_{ij} - f_j \cdot B_{ij}) + e_i (e_j \cdot B_{ij} + f_j \cdot G_{ij}) \quad (20)$$

$$Q_i^{Rect} = e_i^2 + f_i^2 \quad (21)$$

Untuk aliran daya dalam bentuk rectangular, karena tegangan menggunakan bilangan kompleks, maka ada penambahan persamaan dalam bus PV, karena dalam bentuk matriks jacobian perubahan daya nyata (P) dan daya reaktif (Q) berbanding lurus terhadap perubahan tegangan real (e) dan imajiner tegangan (f). Maka nilai V yang diketahui di bus PV ditambahkan kedalam perhitungan.

Secara umum tujuan dari analisis aliran daya adalah dimaksudkan untuk mendapatkan:

1. Besar dan sudut tegangan masing-masing bus sehingga bisa diketahui tingkat pemenuhan batas-batas operasi yang diperbolehkan.
2. Besar arus dan daya yang dialirkan lewat jaringan interkoneksi, sehingga bisa diidentifikasi tingkat pembebanannya.

Kompleksitas untuk memperoleh bentuk solusi dari aliran daya pada sistem tenaga timbul karena adanya perbedaan jenis data tertentu untuk berbagai jenis bus. Meskipun formulasi persamaan yang cukup untuk mencocokkan jumlah dari variable keadaan yang tidak diketahui itu tidak sulit seperti telah kita lihat, solusi bentuk tertutup cukup tidak praktis. Solusi digital dari masalah aliran daya mengikuti proses berulang-ulang dengan menetapkan nilai yang telah diperkirakan untuk bus tegangan yang tidak diketahui dan dengan menghitung nilai baru untuk setiap bus tegangan dari nilai perkiraan di bus lainnya serta daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) yang ditentukan. Set nilai tegangan baru di setiap bus yang diperoleh digunakan untuk menghitung masih di satu set bus tegangan. Setiap perhitungan satu set baru tegangan disebut iterasi. Proses iterasi diulang sampai ada perubahan di tiap bus kurang dari nilai minimum yang ditentukan.

Studi aliran daya, atau umumnya dikenal sebagai aliran beban, merupakan bentuk bagian terpenting dari analisis sistem tenaga. Dalam menyelesaikan masalah aliran daya, ada empat kuantitas yang terkait dengan setiap bus yakni *magnitude* tegangan $|V|$, sudut fasa θ , daya aktif P, dan daya reaktif Q. Pada sistem bus umumnya diklasifikasikan menjadi tiga jenis:^[7]

1. Slack Bus

Bus yang dikenal sebagai swing bus merupakan bus yang diambil sebagai referensi dimana *magnitude* ($|V|$) dan sudut fasa (\angle) dari tegangan diketahui. Bus ini memberikan perbedaan antara beban yang dijadwalkan dan daya yang dihasilkan disebabkan oleh kerugian dalam jaringan.

2. Load Bus

Pada bus ini daya aktif dan daya reaktif diketahui. Magnitude dan sudut fasa dari tegangan bus tidak diketahui. Bus ini juga dikenal P-Q bus.

3. Voltage Controlled Bus

Bus juga dikenal bus generator. Di bus ini daya aktif serta magnitude tegangan diketahui. Sudut fasa dari tegangan dan daya reaktif harus ditentukan.

2.6. Peranan Kapasitor dalam Penggunaan Energi Listrik ^[5,6]

Kehidupan modern salah satu cirinya adalah pemakaian energi listrik yang besar. Besarnya energi atau beban listrik yang dipakai ditentukan oleh resistansi (R), induktansi (L) dan kapasitansi (C). Besarnya pemakaian energi listrik itu disebabkan karena banyak dan beraneka ragam peralatan (beban) listrik yang digunakan. Sedangkan beban listrik yang digunakan umumnya bersifat induktif dan kapasitif. Di mana beban induktif (positif) membutuhkan daya reaktif seperti trafo pada rectifier, motor induksi (AC) dan lampu TL, sedang beban kapasitif (negatif) mengeluarkan daya reaktif. Daya reaktif itu merupakan daya tidak

berguna sehingga tidak dapat dirubah menjadi tenaga akan tetapi diperlukan untuk proses transmisi energi listrik pada beban. Jadi yang menyebabkan pemborosan energi listrik adalah banyaknya peralatan yang bersifat induktif. Berarti dalam menggunakan energi listrik ternyata pelanggan tidak hanya dibebani oleh daya aktif (kW) saja tetapi juga daya reaktif (kVAR). Penjumlahan kedua daya itu akan menghasilkan daya nyata yang merupakan daya yang disuplai oleh PLN. Jika nilai daya reaktif (kVAR) diperbesar yang biasanya dilakukan oleh pelanggan industri maka rugi-rugi daya menjadi besar sedang daya aktif (kW) dan tegangan yang sampai ke konsumen berkurang.

Perbandingan daya aktif (kW) dengan daya nyata (kVA) dapat didefinisikan sebagai faktor daya (faktor daya) atau $\cos \phi$.

$$\cos \phi = P \text{ (kW)} / S \text{ (kVA)} \quad (22)$$

$$P \text{ (kW)} = S \text{ (kVA)} \cdot \cos \phi \quad (23)$$

Seperti kita ketahui bahwa harga $\cos \phi$ adalah mulai dari 0 s/d 1. Berarti kondisi terbaik yaitu pada saat harga P (kW) maksimum [$P \text{ (kW)} = S \text{ (kVA)}$] atau harga $\cos \phi = 1$ dan ini disebut juga dengan $\cos \phi$ yang terbaik. Namun dalam kenyataannya harga $\cos \phi$ yang ditentukan oleh PLN sebagai pihak yang mensuplai daya adalah sebesar 0,8. Jadi untuk harga $\cos \phi < 0,8$ berarti faktor daya dikatakan buruk. Jika faktor daya pelanggan jelek (rendah) maka kapasitas daya aktif (kW) yang dapat digunakan pelanggan akan berkurang. Kapasitas itu akan terus menurun seiring dengan semakin menurunnya faktor daya sistem

kelistrikan pelanggan. Akibat menurunnya faktor daya itu maka akan muncul beberapa persoalan sbb:

- a. Membesarnya penggunaan daya listrik kW karena rugi-rugi.
- b. Membesarnya penggunaan daya listrik kVAR.
- c. Mutu listrik menjadi rendah karena jatuh tegangan.

Secara teoritis sistem dengan faktor daya yang rendah tentunya akan menyebabkan arus yang dibutuhkan dari penyalur menjadi besar. Hal ini akan menyebabkan rugi-rugi daya (daya reaktif) dan jatuh tegangan menjadi besar.

Untuk memperbesar harga $\cos \phi$ (faktor daya) yang rendah hal yang mudah dilakukan adalah memperkecil sudut ϕ sehingga menjadi ϕ_1 berarti $\cos \phi_1 > \cos \phi$. Sedang untuk memperkecil sudut ϕ itu hal yang mungkin dilakukan adalah memperkecil komponen daya reaktif (kVAR). Berarti komponen daya reaktif yang bersifat induktif harus dikurangi dan pengurangan itu bisa dilakukan dengan menambah suatu sumber daya reaktif yaitu berupa kapasitor.

Proses pengurangan itu bisa terjadi karena kedua beban (induktor dan kapasitor) arahnya berlawanan akibatnya daya reaktif menjadi kecil. Bila daya reaktif menjadi kecil sementara daya aktif tetap maka harga faktor daya menjadi besar. Sedangkan keuntungan lain dengan mengecilnya daya reaktif adalah :

- Mengurangi rugi-rugi daya pada sistem.
- Adanya peningkatan tegangan karena daya meningkat.

2.6.1. Proses Kerja Kapasitor

Kapasitor yang akan digunakan untuk memperbesar faktor daya dipasang paralel dengan rangkaian beban. Bila rangkaian itu diberi tegangan maka muatan elektron akan mengalir masuk ke kapasitor. Pada saat kapasitor penuh dengan muatan elektron maka tegangan akan berubah. Kemudian elektron akan ke luar dari kapasitor dan mengalir ke dalam rangkaian yang memerlukannya dengan demikian pada saat itu kapasitor membangkitkan daya reaktif. Bila tegangan yang berubah itu kembali normal (tetap) maka kapasitor akan menyimpan kembali elektron. Pada saat kapasitor mengeluarkan elektron (I_c) berarti sama juga kapasitor menyuplai daya reaktif ke beban. Karena beban bersifat induktif (+) sedangkan daya reaktif bersifat kapasitif (-) akibatnya daya reaktif yang berlaku menjadi kecil.

Rugi-rugi daya sebelum dipasang kapasitor :

$$\text{Rugi daya aktif} = I^2 R \quad \text{Watt} \quad (24)$$

$$\text{Rugi daya reaktif} = I^2 X \quad \text{VAR} \quad (25)$$

Rugi-rugi daya sesudah dipasang kapasitor :

$$\text{Rugi daya aktif} = (I^2 - I_c^2) R \quad \text{Watt} \quad (26)$$

$$\text{Rugi daya reaktif} = (I^2 - I_c^2) X \quad \text{VAR} \quad (27)$$

2.6.2. Pemasangan Kapasitor

Kapasitor yang akan digunakan untuk memperkecil atau memperbaiki faktor daya penempatannya ada dua cara :

1. Penempatan Terpusat, kapasitor ditempatkan pada :

- a. Sisi primer dan sekunder transformator
- b. Pada bus pusat pengontrol

2. Penempatan terbatas, kapasitor ditempatkan :

- a. Feeder kecil
- b. Pada rangkaian cabang
- c. Langsung pada beban

2.6.3. Efek Dari Pemasangan Kapasitor Seri Dan *Shunt* (Paralel) Pada Saluran Distribusi

Kapasitor daya terdiri dari komponen konduktor dan isolasi. Yaitu terdiri dari pelat metal yang dipisahkan satu sama lain dengan bahan isolasi. Tidak ada bagian yang bergerak, akan tetapi terdapat gaya yang bekerja sebagai fungsi dari kuat medan listrik. Biasanya dibuat dari lapisan alumunium murni atau semprotan logam. Sistem dislektriknya dapat dibuat dari :

- a. Keseluruhan dielektriknya dari kertas (kondens kertas tissue)
- b. Lapisan campuran kertas plastik.
- c. Lapisan plastik dengan cairan perekat yang dipadatkan.

Untuk semua kapasitor yang berdielektrik kertas, umumnya digunakan askarel seba pematat. Tissue dengan kepadatan tinggi, yang tebal normalnya 10 – 16 mm sering dipakai. Dalam praktek, kapasitor ini didesain dapat menahan kuat medan berkisar 15 V per micron rugi dayanya berkisar antara 2,4 – 3,5 watt/kVAr.

2.6.3.1. Efek Pemasangan Kapasitor Paralel (*shunt*)

Pengaruh Kapasitor shunt pada jaringan listrik yakni kapasitor ini terhubung paralel pada jaringan maupun langsung pada beban, dengan tujuan untuk perbaikan faktor daya, sebagai pengatur tegangan maupun untuk mengurangi kerugian daya dan tegangan pada jaringan.

2.6.3.2. Efek Pemasangan Kapasitor Seri

Kapasitor seri yaitu kapsitor yang dihubungkan seri dengan impedansi saluran yang bersangkutan. Pemakaiannya amat dibatasi pada saluran distribusi, karena peralatan pengaman cukup rumit. Jadi secara umum dapat dikatakan bahwa biaya untuk pemasangan kapasitor seri lebih mahal daripada biaya pemasangan kapasitor parallel. Biasanya juga, kapasitor seri desain untuk daya yang lebih besar daripada kapasitor parallel, guna mengatasi perkembangan beban kelak dikemudian hari.

2.6.4. Perawatan Kapasitor

Kapasitor yang digunakan untuk memperbaiki faktor daya supaya tahan lama tentunya harus dirawat secara teratur. Dalam perawatan itu perhatian harus dilakukan pada tempat yang lembab yang tidak terlindungi dari debu dan

kotoran. Sebelum melakukan pemeriksaan pastikan bahwa kapasitor tidak terhubung lagi dengan sumber. Kemudian karena kapasitor ini masih mengandung muatan berarti masih ada arus/tegangan listrik maka kapasitor itu harus dihubungkan singkatkan supaya muatannya hilang. Adapun jenis pemeriksaan yang harus dilakukan meliputi :

- Pemeriksaan kebocoran
- Pemeriksaan kabel dan penyangga kapasitor
- Pemeriksaan isolator

2.7. Linier Programming^[10,11]

Linear programming merupakan metode matematik dalam mengalokasikan sumber daya yang terbatas untuk mencapai suatu tujuan seperti memaksimalkan keuntungan dan meminimumkan biaya. Linear programming banyak diterapkan dalam masalah ekonomi, industri, militer, sosial dan lain-lain. Linear programming berkaitan dengan penjelasan suatu kasus dalam dunia nyata sebagai suatu model matematik yang terdiri dari sebuah fungsi tujuan linier dengan beberapa kendala linier.

Langkah pertama dalam model linear programming adalah formulasi masalah, yang meliputi proses pengidentifikasi dan penentuan batasan serta fungsi tujuan. Langkah kedua adalah memecahkan masalah yang dialami. Jika terdapat hanya dua variabel keputusan, maka masalah tersebut dapat diselesaikan dengan menggunakan metode grafik. Semua permasalahan linear programming juga dapat dipecahkan dengan metode simpleks apabila terdapat tiga variabel keputusan atau lebih. Metode tersebut menghasilkan informasi yang berharga seperti harga

bayangan atau harga berganda dan menyediakan analisis sensitivitas lengkap pada input lain dari permasalahan yang dipakai .

Karakteristik yang biasa digunakan dalam persoalan linear programming adalah sebagai berikut :

1. Sifat linearitas suatu kasus dapat ditentukan dengan menggunakan beberapa cara. Secara statistik, kita dapat memeriksa kelinearan menggunakan grafik (diagram pencar) ataupun menggunakan uji hipotesa. Secara teknis, linearitas ditunjukkan oleh adanya sifat proporsionalitas, additivitas, divisibilitas dan kepastian fungsi tujuan dan pembatas.
2. Sifat proporsional dipenuhi jika kontribusi setiap variabel pada fungsi tujuan atau penggunaan sumber daya yang membatasi proporsional terhadap level nilai variabel. Jika harga per unit produk misalnya adalah sama berapapun jumlah yang dibeli, maka sifat proporsional dipenuhi. Atau dengan kata lain, jika pembelian dalam jumlah besar mendapatkan diskon, maka sifat proporsional tidak dipenuhi. Jika penggunaan sumber daya per unitnya tergantung dari jumlah yang diproduksi, maka sifat proporsionalitas tidak dipenuhi.
3. Sifat additivitas mengasumsikan bahwa tidak ada bentuk perkalian silang diantara berbagai aktivitas, sehingga tidak akan ditemukan bentuk perkalian silang pada model. Sifat additivitas berlaku baik bagi fungsi tujuan maupun pembatas (kendala). Sifat additivitas dipenuhi jika fungsi tujuan merupakan penambahan langsung kontribusi masing-masing variabel keputusan. Untuk fungsi kendala, sifat additivitas dipenuhi jika nilai kanan merupakan total penggunaan masing-masing variabel keputusan. Jika dua variabel keputusan

misalnya merepresentasikan dua produk substitusi, dimana peningkatan volume penjualan salah satu produk akan mengurangi volume penjualan produk lainnya dalam pasar yang sama, maka sifat additivitas tidak terpenuhi.

4. Sifat divisibilitas berarti unit aktivitas dapat dibagi ke dalam sembarang level fraksional, sehingga nilai variabel keputusan non integer dimungkinkan.
5. Sifat kepastian menunjukkan bahwa semua parameter model berupa konstanta. Artinya koefisien fungsi tujuan maupun fungsi pembatas merupakan suatu nilai pasti, bukan merupakan nilai dengan peluang tertentu.

2.7.1. Pembentukan Model Matematik

Tahap berikutnya yang harus dilakukan setelah memahami permasalahan optimasi adalah membuat model yang sesuai untuk analisis. Pendekatan konvensional riset operasional untuk pemodelan adalah membangun model matematik yang menggambarkan inti permasalahan. Kasus dari bentuk cerita diterjemahkan ke model matematik. Model matematik merupakan representasi kuantitatif tujuan dan sumber daya yang membatasi sebagai fungsi variabel keputusan. Model matematika permasalahan optimal terdiri dari dua bagian. Bagian pertama memodelkan tujuan optimasi. Model matematik tujuan selalu menggunakan bentuk persamaan. Bentuk persamaan digunakan karena kita ingin mendapatkan solusi optimum pada satu titik. Fungsi tujuan yang akan dioptimalkan hanya satu. Bukan berarti bahwa permasalahan optimasi hanya dihadapkan pada satu tujuan. Tujuan dari suatu usaha bisa lebih dari satu. Tetapi pada bagian ini kita hanya akan tertarik dengan permasalahan optimal dengan satu tujuan.

Bagian kedua merupakan model matematik yang merepresentasikan sumber daya yang membatasi. Fungsi pembatas bisa berbentuk persamaan ($=$) atau pertidaksamaan ($<$ atau $>$). Fungsi pembatas disebut juga sebagai konstrain. Konstanta (baik sebagai koefisien maupun nilai kanan) dalam fungsi pembatas maupun pada tujuan dikatakan sebagai parameter model. Model matematika mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan pendeskripsian permasalahan secara verbal. Salah satu keuntungan yang paling jelas adalah model matematik menggambarkan permasalahan secara lebih ringkas. Hal ini cenderung membuat struktur keseluruhan permasalahan lebih mudah dipahami, dan membantu mengungkapkan relasi sebab akibat penting. Model matematik juga memfasilitasi yang berhubungan dengan permasalahan dan keseluruhannya dan mempertimbangkan semua keterhubungannya secara simultan. Terakhir, model matematik membentuk jembatan ke penggunaan teknik matematik dan komputer kemampuan tinggi untuk menganalisis permasalahan.

Model matematik mempunyai kelemahan. Tidak semua karakteristik sistem dapat dengan mudah dimodelkan menggunakan fungsi matematik. Meskipun dapat dimodelkan dengan fungsi matematik, kadang-kadang penyelesaiannya sulit diperoleh karena kompleksitas fungsi dan teknik yang dibutuhkan. Bentuk umum linear programming adalah sebagai berikut:

Fungsi tujuan :

$$\text{Maksimumkan atau minimumkan } z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (28)$$

Sumber daya yang membatasi :

$$\begin{aligned}
 a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &= / / b_1 \\
 a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &= / / b_2 \\
 &\dots \\
 a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &= / / b_m
 \end{aligned} \tag{30}$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \tag{31}$$

- m = macam batasan sumber atau fasilitas yang tersedia
- n = macam kegiatan yang menggunakan sumber atau fasilitas tersebut
- i = nomor setiap macam sumber atau fasilitas yang tersedia ($i=1,2,\dots,m$)
- j = nomor setiap macam kegiatan yang menggunakan sumber atau fasilitas yang tersedia ($j = 1,2,\dots,n$)
- x_j = tingkat kegiatan ke, j . ($j = 1,2,\dots,n$)
- a_{ij} = banyaknya sumber i yang diperlukan untuk menghasilkan setiap unit keluaran (output) kegiatan j ($i = 1,2,\dots,m$, dan $j = 1,2,\dots,n$)
- b_i = banyaknya sumber (fasilitas) yang tersedia untuk dialokasikan ke setiap unit kegiatan ($i = 1,2,\dots,n$)
- Z = nilai yang dioptimalkan (maksimum atau minimum)
- C_j = kenaikan nilai Z apabila ada pertambahan tingkat kegiatan (x_j) dengan satu satuan (unit); atau merupakan sumbangan setiap satuan keluaran kegiatan j terhadap nilai Z

Simbol x_1, x_2, \dots, x_n (x_i) menunjukkan variabel keputusan. Jumlah variabel keputusan (x_i) oleh karenanya tergantung dari jumlah kegiatan atau aktivitas yang dilakukan untuk mencapai tujuan. Simbol c_1, c_2, \dots, c_n merupakan kontribusi masing-masing variabel keputusan terhadap tujuan, disebut juga koefisien fungsi tujuan pada model matematikanya. Simbol $a_{11},$

..., a_{1n}, \dots, a_{mn} merupakan penggunaan per unit variabel keputusan akan sumber daya yang membatasi, atau disebut juga sebagai koefisien fungsi kendala pada model matematikanya. Simbol b_1, b_2, \dots, b_m menunjukkan jumlah masing-masing sumber daya yang ada. Jumlah fungsi kendala akan tergantung dari banyaknya sumber daya yang terbatas.

Pertidaksamaan terakhir ($x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$) menunjukkan batasan non negatif. Kasus linear programming sangat beragam. Dalam setiap kasus, hal yang penting adalah memahami setiap kasus dan memahami konsep permodelannya. Meskipun fungsi tujuan misalnya hanya mempunyai kemungkinan bentuk maksimisasi atau minimisasi, keputusan untuk memilih salah satunya bukan pekerjaan mudah. Tujuan pada suatu kasus bisa menjadi batasan pada kasus yang lain. Harus hati-hati dalam menentukan tujuan, koefisien fungsi tujuan, batasan dan koefisien pada fungsi pembatas.

Masalah keputusan yang biasa dihadapi para analis adalah alokasi optimum sumber daya yang langka. Sumber daya dapat berupa modal, tenaga kerja, bahan mentah, kapasitas mesin, waktu, ruangan atau teknologi.

2.7.2. Syarat Linear Programming

linear programming dilakukan dengan syarat yang berlaku. Syarat tersebut ditentukan agar dalam penyelesaian persoalan dapat ditempuh dengan linear programming, berikut syarat linear programming.

1. Tujuan harus jelas
2. Ada benda alternatif yang akan dibandingkan
3. Sumber daya terbatas

4. Bisa dirumuskan secara kuantitatif
5. Adanya keterkaitan peubah (kendala harus sama, bahan baku harus sama atau keterkaitan).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penulisan tugas akhir ini dilakukan di Laboratorium sistem tenaga elektrik laboratorium terpadu teknik elektro Universitas Lampung pada bulan Januari 2016 sampai dengan April 2016.

3.2. Alat dan Bahan

1. Bahan Penelitian

Pada penelitian ini bahan-bahan yang digunakan antara lain:

- Single line diagram Penyulang Kangkung, GI Menggala
- Data trafo distribusi Penyulang Kangkung, GI Menggala

2. Alat Penelitian

Pada penelitian ini peralatan yang digunakan antara lain:

- Seperangkat komputer Intel Core I3 2,1 GHz
- *Software* Python

3.3. Metode Penelitian

Dalam penyelesaian penelitian tugas akhir ini ada beberapa langkah kegiatan yang dilakukan sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi Masalah

Pada tahapan ini penulis mengidentifikasi permasalahan yang terdapat pada penyulang Kangkung. Dimana pada penyulang Kangkung ini mengalami jatuh tegangan sangat besar di beberapa bus, maka dari itu penulis mengangkat permasalahan ini menjadi tugas akhir.

2. Studi Literatur

Ini merupakan tahapan di mana penulis mengumpulkan dan mempelajari tentang penggunaan dan penempatan kapasitor sebagai kompesator daya reaktif untuk mengkompensasi daya reaktif. Studi literatur dimaksudkan untuk mempelajari berbagai sumber referensi atau teori (buku dan internet) yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir, yaitu berupa penempatan optimal kapasitor untuk mengurangi jatuh tegangan dan rugi-rugi daya. Selanjutnya literatur – literatur tersebut digunakan untuk dasar dalam mengerjakan tugas akhir ini.

3. Studi Bimbingan

Berbentuk tanya jawab dan bimbingan dengan dosen pembimbing mengenai masalah-masalah yang timbul selama pengerjaan serta penulisan penelitian tugas akhir berlangsung.

4. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dimaksudkan untuk mengambil data yang nantinya akan diolah dan dianalisa dengan metode *Newton-Rhapson*. Data yang akan digunakan dan dikumpulkan adalah :

A. Data beban tiap fasa di trafo distribusi pada GI Menggala.

B. Data impedansi.

C. Data *One-line* diagram sistem distribusi 20 KV pada GI Menggala.

5. Analisis Aliran Daya

Membuat program aliran daya yang terdiri dari :

A. Data Generator

B. Data Bus

C. Data Beban

D. Data Transformator

Dalam penelitian ini saluran transmisi pengiriman aliran daya dianggap saluran pendek. Sehingga efek kapasitansi dapat diabaikan tanpa mengurangi akurasi perhitungan.

6. Simulasi

Penelitian tahap berikutnya berlanjut ke proses simulasi. Data – data yang telah terkumpul sebelumnya dilakukan untuk mengetahui penempatan optimal kapasitor dengan menggunakan program Python. Langkah – langkah simulasi:

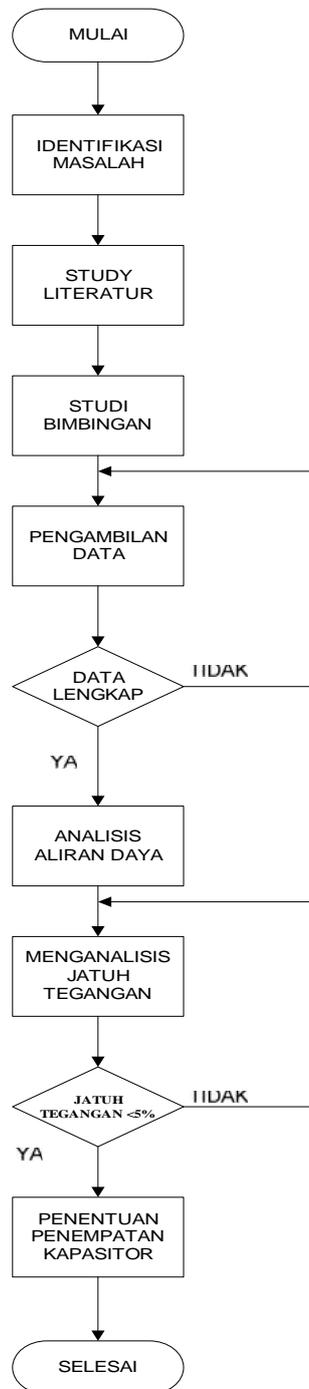
- a. Memasukan data yang berkaitan pada software python.
- b. Menjalankan simulasi aliran daya setelah memasukkan data yang telah diberikan dengan menggunakan *software* python.
- c. Mengamati bus yang mengalami jatuh tegangan paling besar dan mencoba menambahkan kapasitor pada simulasi tersebut.
- d. Membuat program pada Python untuk menentukan penempatan kapasitor.

7. Analisis Hasil

Langkah berikut adalah tahapan terakhir dalam tugas akhir ini. Dari hasil simulasi akan didapatkan hasil penempatan optimal kapasitor lalu menganalisa hasil simulasi yang telah dilakukan.

3.4. Diagram Alir Penelitian

Berikut gambar 3.1 merupakan diagram alir dari penelitian tugas akhir yang penulis lakukan:



Gambar 3.1. Gambar diagram alir penelitian

3.5. Algoritma Program

Dalam tugas akhir tentang perhitungan penempatan kapasitor ini melalui beberapa langkah , diantaranya sebagai berikut :

1. Memasukkan Data.
2. Membentuk Matriks admitansi bus (Y_{123})

Dalam penelitian ini diterapkan saluran yang dimodelkan oleh sebuah matriks impedansi. Pada matriks ini terdapat elemen diagonal yang disebut impedansi sendiri, dan elemen off-diagonal yang disebut impedansi bersama. Untuk persamaan matriks impedansi jaringan tiga fasa antara bus i dan bus j

$$Y_{123} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} \quad (23)$$

Y_{123} merupakan admitansi saluran dari masing-masing bus

Y_{11}, Y_{22}, Y_{33} merupakan bentuk impedansi fasa sendiri

$Y_{12}, Y_{13}, Y_{21}, Y_{23}, Y_{31}, Y_{32}$ merupakan bentuk impedansi fasa bersama

3. Menentukan Nilai Awal Tegangan e dan f

Untuk bus slack (V) diketahui dan bus beban (PQ) diasumsikan nilai tegangan awalnya 1 pu dan sudut fasa tegangan nol derajat. Dalam polar tegangan diasumsikan $V_i = |V_i| \angle \theta_i$ dan dirubah kedalam bentuk rectangular menjadi $V_i = e_i + jf_i$.

Dimana :

$$e_i = |V_i| \cos \theta_i \quad (24)$$

$$f_i = |V_i| \sin \theta_i \quad (25)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots$$

4. Menentukan Iterasi $n = 0$
5. Menghitung nilai daya injeksi (P_{inj} , Q_{inj} dan V_{inj})

Dengan mengikuti persamaan pada c mendapatkan persamaan untuk daya.

Persamaan ini dirubah ke dalam persamaan rectangular :

$$S_i = (e_i + jf_i) \sum_{j=1}^n (G_{ij} - jB_{ij}) \cdot (e_i - jf_i) \quad (26)$$

Dan dipisah menjadi daya aktif dan daya reaktif :

$$p_i = \sum_{j=1}^n \left[e_i (e_j \cdot G_{ij} - f_j - B_{ij}) + f_i (e_j \cdot B_{ij} + f_j \cdot G_{ij}) \right] \quad (27)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n \left[f_i (e_j \cdot G_{ij} - f_j - B_{ij}) + e_i (e_j \cdot B_{ij} + f_j \cdot G_{ij}) \right] \quad (28)$$

Dimana $i = 1, 2, 3, \dots$

Untuk bus generator (PV) karena disini menggunakan rectangular, maka

Q_{inj} yang sebenarnya dalam polar tidak diperhitungkan, maka diganti

menjadi V_{inj} yang diperhitungkan dalam rectangular.

$$V_i = (e_i)^2 + (f_i)^2 \quad (30)$$

6. Menghitung besarnya selisih daya P dan Q

$$P = P_{gen\ i} + P_{load\ i} - P_{inj\ i} \quad (31)$$

$$Q = Q_{gen\ i} + Q_{load\ i} - Q_{inj\ i} \quad (32)$$

7. Menentukan Penempatan Kapasitor

1. Fungsi objektif

$$F(x) = Mir = \sum_{load\ bus} C_n Q_n \quad (33)$$

2. Permasalahan

$$\frac{\partial P_i}{\partial e_i} \Delta e_i + \frac{\partial P_i}{\partial f_i} \Delta f_i + \frac{\partial P_i}{\partial e_j} \Delta e_j + \frac{\partial P_i}{\partial f_j} \Delta f_j - P_m^+ + P_m^- = -P_i + P_i \quad (34)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial e_i} \Delta e_i + \frac{\partial Q_i}{\partial f_i} \Delta f_i + \frac{\partial Q_i}{\partial e_i} \Delta e_i + \frac{\partial Q_i}{\partial f_i} \Delta f_i - Q_m^+ + Q_m^- - Q_{var_1}^+ +$$

$$Q_{var_1}^- = -Q_i + Q_i \quad (35)$$

3. Batasan

$$0,95 \text{ p.u} \leq e \leq 1,05 \text{ p.u} \quad (36)$$

$$0,95 \text{ p.u} \leq f \leq 1,05 \text{ p.u} \quad (37)$$

Bus beban

$$0,0 \text{ kVar} \leq Q_{var}^+ \leq 200 \text{ kVar} \quad (38)$$

$$0,0 \text{ kVar} \leq Q_{var}^- \leq 200 \text{ kVar} \quad (39)$$

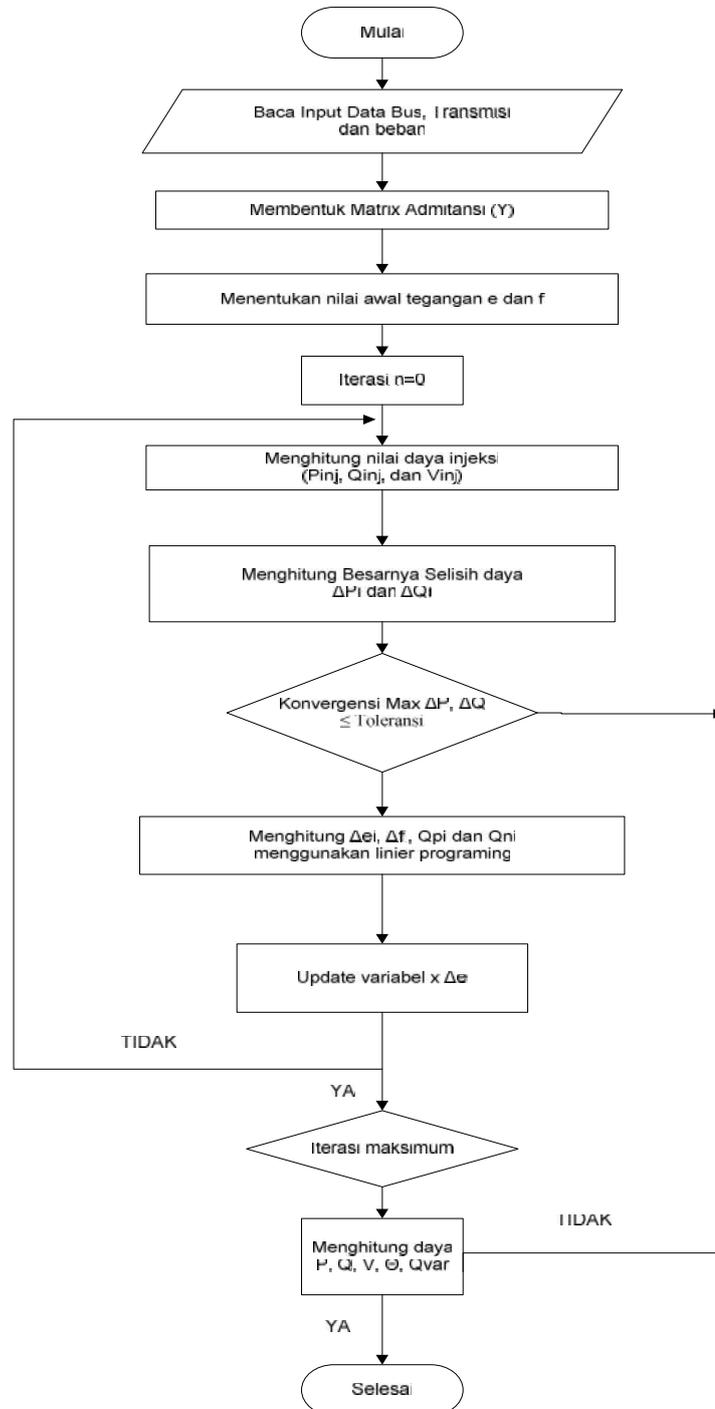
8. Menghitung update tegangan

$$e_{iupdate} = e_{isebelum} + \Delta e_i \quad (40)$$

$$f_{iupdate} = f_{isebelum} + \Delta f_i \quad (41)$$

3.6. Diagram Alir Program

Berikut gambar 3.2 merupakan diagram alir dari program tugas akhir yang penulis lakukan:



Gambar 3.2. Diagram Alir Pembuatan Program

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan simulasi dan pembahasan yang dapat diambil setelah penulis selesai melaksanakan skripsi dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil dari simulasi menggunakan *python 2.7.5* bahwa penempatan kapasitor secara optimal ditempatkan pada bus 2 sampai bus 13 dari jumlah bus yang mencapai 191 bus dan pada hasil simulasi yang didapatkan besar kapasitas kapasitor terpasang pada bus 2 sampai bus 12 adalah 200 kVar dan pada bus 13 besar kapasitas kapasitor terpasang adalah 13 kVar.
2. Dari hasil simulasi sebelum dan sesudah di injeksi daya reaktif, profil tegangan masih berada pada standar PLN dengan nilai - 3% dari nilai $\pm 5\%$.
3. Dari hasil percobaan penempatan kapasitor ini dapat meminimalisir rugi-rugi daya, dari sebelumnya 1,988 MW dan 2,389 MVar menjadi 0,101 MW dan 0,100 Mvar

5.2. Saran

Dari hasil penelitian skripsi ini masih ada beberapa tambahan untuk menyempurnakan penelitian ini, saran penulis yaitu :

1. Adanya penambahan *constrain* sehingga mencegah kelebihan kompensasi di bus slack akibat penambahan kapasitor.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut sehingga optimasi daya reaktif menggunakan kapasitor sesuai kondisi nyata pada lapangan seperti penelitian untuk pengaturan dan penempatan kapasitor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Singh, Amritpal. 2010. *Loss Minimization in High Voltage Distribution by Capacitors Placement Using Genetic Algoritm*. Patiala : Thapar University.
- [2] Zhu, Jizhong. 2009. *Optimization Of Power System Opertion*. Canada: John Wiley and Sons.
- [3] Lukmanul Hakim Umi Murdika, Herri Gusmedi, Syamsuri Zaini, "A Study on Reactive Power Allocation for Electrical Power Distribution System with Low Voltage Profile",dalam *International Conference on Science, Technology and Interdiciplinary Research*, Bandar Lampung, 2015.
- [4] International Electrotechnical Comission (IEC) 60038.1983.
- [5] Turan Gonen,"*Electric Power Distribution System Engineering*",McGraw-Hill.Inc, United States,1986.
- [6] W. H. Kersting,"*Radial Distribution Test Feeders*", New Mexico State University.2000.
- [7] H. Saadat, 1999, *Power System Analysis*, New York: McGraw-Hill Book Company.

- [8] M. Djiteng, 1990, Operasi sistem tenaga listrik, Jakarta: Balai Penerbit & Humas ISTN.
- [9] K. Linden dan I. Segerqvist, “*Modelling of Load Devices and Studying Load/System Characteristics*,” Chalmers University of Technology, Goteborg, 1993.
- [10] Truma, Yaromir. 2014.” *Linier Progrming: Theory, Algorithms and Applications*”.
- [11] Yusuke Motozawa, “*Analysis of Linear, Integer, and Binary Programming and their Applications*”, University of Houston, Downtown, 2009.
- [12] L. Hakim, M. Wahidi, T. Handoko, H. Gusmedi, N. Soedjarwanto dan F. Milano, “Development of a Power Flow Software for Distribution System Analysis Based on Rectangular Voltage Using Python Software Package,” dalam *6th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, Yogyakarta, 2014.
- [13] S. Sundhararajan and A. Pahwa, “*Optimal Selection of Capacitor for Radial Distribution System using a Genetic Algorithm*,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 9. no.3, pp. 1499-1507, 1994.
- [14] M. Djiteng, 1990, Operasi sistem tenaga listrik, Jakarta: Balai Penerbit & Humas ISTN.
- [15] R. Aswani dan R. Sakthivel, “Power Flow Analysis of 110/11 KV Substation Using ETAP,” *International Journal of Applied and Studies (iJARS)*, vol. 3, no. 1, 2014. Lukmanul Hakim, “*Linear Programming Based-Optimal Power*.”