

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Jaringan distribusi merupakan jaringan tenaga listrik yang mendistribusikan energi listrik kepada pelanggan dengan sumber tegangan menengah 20 kV menjadi tegangan rendah 220-380 V. Sistem distribusi dimulai dari *feeder* yang keluar dari GH (Gardu Hubung) disalurkan melalui penghantar berupa kawat yang terbuat dari aluminium pada jaringan distribusi. Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memiliki nilai tegangan yang tidak melebihi batas toleransi serta rugi-rugi daya yang kecil. Batas toleransi yang diperbolehkan untuk suatu nilai tegangan $\pm 10\%$ dari nilai nominalnya.

Proses pendistribusian tenaga listrik dimulai dari transformator distribusi sampai ke konsumen terdapat penurunan tegangan yang dipengaruhi oleh beban, panjang penghantar dan tahanan jenis penghantar. Adapun semakin panjang suatu penghantar dari transformator distribusi, maka tegangan yang akan diterima di ujung saluran akan semakin menurun, hal tersebut terjadi karena semakin panjang suatu saluran maka semakin tinggi nilai impedansi (tahanan) pada saluran.

Sistem distribusi berfungsi menyalurkan energi listrik ke beban. Ada banyak hal yang dapat mengakibatkan terputusnya pendistribusian daya listrik ke beban, salah satunya adalah drop tegangan. Proses penyaluran tenaga listrik dalam saluran transmisi dan distribusi terdapat daya listrik yang hilang, hilangnya daya listrik disebut dengan rugi-rugi atau losses. Rugi rugi pada jaringan sistem tenaga listrik juga disebabkan oleh pembebanan yang tidak seimbang antara ketiga sistem fasa, panas yang timbul pada konduktor saluran maupun transformator, serta panas yang timbul pada sambungan konduktor yang buruk (*losscontact*).

Jatuh tegangan atau drop tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang dalam suatu penghantar yang dapat terjadi karena suatu penghantar

mempunyai tahanan. Besar tahanan suatu penghantar sangat dipengaruhi oleh luas penampang penghantar tersebut. Akibat dari jatuh tegangan terhadap dampak gangguan ini berakibat pada buruknya pelayanan ke konsumen dan kerugian yang didapatkan oleh PLN semakin besar.

Dilihat dari banyaknya permasalahan yang terjadi saat proses pendistribusian energi listrik. Maka diperlukan perbaikan drop tegangan dan untuk mengetahui besar kecilnya jatuh tegangan sepanjang saluran distribusi menggunakan kapasitor bank, kapasitor ini dapat memperbaiki faktor daya feeder tersebut, menjadi bernilai satu (*unity*) sehingga drop tegangan dan losses dari saluran dapat berkurang.

Untuk mencari letak penempatan kapasitor yang tepat, perlu dilakukan pengujian dengan menempatkan bank kapasitor yang telah dihitung, pada setiap gardu distribusi di sepanjang penyulang yang akan dipasang bank kapasitor. Pada tiap penempatan bank kapasitor pada gardu distribusi, harus disimulasikan dalam perangkat lunak ETAP 12.6.0. Dari hasil simulasi akan diketahui rugi-rugi daya yang terjadi pada penyulang, Penempatan bank kapasitor yang menghasilkan pengurangan rugi-rugi daya paling besar merupakan penempatan yang paling optimal.

Berdasarkan uraian diatas, maka penulis mengangkat tugas proyek akhir dengan judul “Implementasi Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Drop Tegangan dan Losses Pada Jaringan Distribusi 20 kV Feeder Kayu Bawang Simulasi ETAP (*Electric Transient Analysis Program*) 12.6”. Guna analisis ini, bertujuan untuk mengetahui besar kecilnya jatuh tegangan dan losses yang terjadi akibat panjangnya saluran distribusi dengan menggunakan kapasitor bank pada jaringan distribusi 20 kV yang bertempat di Pesisir Selatan (GI PLN Kambang).

1.2. Rumusan Masalah

- Bagaimana mengatasi drop tegangan dan losses dengan kapasitor bank?
- Bagaimana menghitung kebutuhan kapasitor bank?

- Bagaimana merancang penempatan kapasitor bank berbasis simulasi ETAP 12.6.0?

1.3 Batasan Masalah

- Sistem distribusi 20 kV feeder kayu bawang.
- Mengatasi drop tegangan dan losses pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV
- Menghitung kebutuhan kapasitor bank pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki tegangan dan mengurangi losses atau rugi – rugi daya yang terjadi pada sistem jaringan distribusi 20 kV di Feeder Kayu Bawang dengan menggunakan aplikasi ETAP 12.6

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Tegangan yang didapat oleh konsumen lebih stabil (tetap atau tidak berubah).
- Biaya pembayaran listrik menjadi lebih stabil.
- Sistem Kelistrikannya juga menjadi lebih stabil.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Penelitian

Dalam penulisan laporan proposal ini penulis merujuk pada penelitian yang sudah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya sebagai berikut:

Ridho Widodo¹⁾, Wahyudi Budi Pramono²⁾ Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, 2015
“Analisa Optimalisasi Penempatan Kapasitor Bank Pada Jalur Distribusi Chf 3 Pt. Bukit Asam (Persero) Tbk” Beban listrik di industri lebih banyak bersifat induktif. Penggunaan beban yang bersifat induktif dalam kapasitas besar ini dapat menyebabkan penurunan faktor daya, memperbesar jatuh tegangan dan rugi-rugi daya. Salah satu upaya untuk memperbaiki faktor daya, mengurangi jatuh tegangan dan juga rugi-rugi daya dilakukan dengan pemasangan kompensasi daya reaktif yang cukup dalam sistem tersebut Penelitian ini dilakukan pada jaringan distribusi CHF 3 PT Bukit Asam (persero) Tbk dengan beban terbesar berupa motor induksi. Metode penelitian yang digunakan adalah menghitung kebutuhan daya reaktif keseluruhan dalam sistem agar nilai faktor daya $>0,95$. Lokasi penempatan kompensasi daya reaktif dibandingkan antara di incoming feeder dengan di subdistribusi. Parameter yang diamati adalah faktor daya, besarnya jatuh tegangan di setiap bus dan rugi rugi daya total dalam sistem. Perhitungan parameter dengan menggunakan bantuan perangkat lunak ETAP 12,6. Analisis ekonomi dilakukan terhadap penambahan kompensasi daya reaktif tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan kompensasi daya reaktif di incoming feeder sebesar 1300 kVAR menghasilkan faktor daya 0,96 lagging, total rugi rugi daya sebesar 62,7 kW, tegangan terendah pada bus 37 sebesar 19,8 kV dan biaya pemasangan Rp. 864.000.000,-. Sedangkan pemasangan kompensasi daya reaktif di subdistribusi sebesar 1304 kVAR menghasilkan faktor daya 0,96 lagging, total rugi rugi daya sebesar 57 kW, tegangan terendah pada bus 37 sebesar 19,811 kV dan biaya pemasangan sebesar Rp. 836.680.000,-. [1]

Choirul Saleh, Awan U. Krismanto, Abraham Lomi Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang, 2017 *“Implementasi Bank Kapasitor Untuk Perbaikan Profil Tegangan Sistem Distribusi 20 kV Menggunakan Software ETAP Power Station di Rayon Besuki.”* Kebutuhan energi listrik di sektor industri yang meningkat secara pesat akhir-akhir ini juga diikuti oleh modernisasi kehidupan masyarakat, maka perlu menjaga ketersediaan energi serta kontinuitas pelayanan kepada konsumen. Bertambah dan berkembangnya industri-industri besar, penggunaan alat-alat dengan konsumsi energi yang besar semakin luas, seperti motor-motor listrik, transformator, lampu-lampu TL dan lain-lain. Beban industri juga sangat bervariasi dan paling banyak menarik daya reaktif induktif dari sistem akibat sistem dapat mengalami gangguan kestabilan apabila kemampuan sistem terbatas. Dengan meningkatnya beban industri seiring dengan konsumsi daya reaktif induktif yang besar akan memperbesar komponen rugi-rugi daya dan mengakibatkan terjadi gangguan stabilitas tegangan, akibatnya faktor daya beban menjadi rendah. Kondisi ini tidak boleh terjadi, sehingga perlu dikembalikan ke kondisi normal dengan menginjeksikan daya reaktif kapasitif yang diperoleh dari bank kapasitor dengan kapasitas tertentu. Dalam tulisan ini, sistem distribusi 20 kV akan dianalisis dengan mengimplementasi bank kapasitor dengan kapasitas tertentu. Dengan menggunakan software ETAP sistem ini akan diuji sebelum dan sesudah diimplementasikan bank kapasitor. Secara keseluruhan dari sistem yang diuji, kenaikan tegangan sekitar 10% dan kenaikan faktor daya sekitar 10%. [2]

Sigit Wisnu Habsoro^{*)}, Agung Nugroho, and Bambang Winardi Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang Jl. Prof Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia 2017 *“Analisa Penempatan Kapasitor Bank Untuk Perhitungan Drop Voltage Pada Feeder Batang 02 Tahun 2012-2016 Dengan Software Etap 7.0.0”* Permintaan akan energi listrik oleh konsumen yang terus meningkat perlu ditunjang dengan peningkatan kualitas dan kontinuitas pelayanan baik untuk kebutuhan industri, komersial, maupun rumah tangga. Penyediaan energi listrik ini harus didukung oleh infrastruktur yang baik, sehingga penyaluran energi listrik dapat memenuhi kebutuhan masyarakat. Peningkatan kebutuhan energi listrik di sektor industri sebagai konsumsi peralatan listrik kapasitas besar seperti motor listrik, trafo, atau lampu-

lampu TL, serta peralatan modern menyebabkan daya listrik yang disalurkan harus memenuhi kriteria, handal, kontinyu, dan stabil. Akibatnya konsumsi daya reaktif induktif menjadi besar, rugi-rugi sistem meningkat, tegangan menurun, dan faktor daya menjadi rendah. Salah satu alternatif sederhana yang umum digunakan untuk memperbaiki kondisi sistem akibat adanya rugi-rugi tersebut adalah dengan menginjeksi daya reaktif kapasitif dengan memasang kapasitor sehingga memberikan peningkatan kestabilan sistem yang signifikan. Penempatan kapasitor yang tepat pada penyulang distribusi primer akan mengurangi rugi-rugi daya, dan meningkatkan kapasitas penyulang yang ada, dan memperbaiki profil tegangan serta meningkatkan faktor daya. Sistem distribusi penyulang Rayon Besuki yang selama ini beroperasi sering mengalami gangguan tegangan karena belum adanya kapasitor yang dipasang. Sistem ini akan dianalisis aliran dayanya sebelum dan sesudah pemasangan bank kapasitor untuk mengetahui profil tegangan, rugi-rugi sistem serta kapasitas sistem yang ada. [3].

Lusi Novia Werdiani¹⁾, Edy Ervianto²⁾, Dian Yayan Sukma³⁾ Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau 2021 *“Analisa Pemasangan Kapasitor Bank Di Gi Pauh Limo Sebagai Akibat Kegagalan Operasi Unit Pembangkit”* Gardu limo Pauh yang terletak di padang, Sumatera Barat memiliki satu kapasitor bank. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh pemasangan kapasitor pada gardu induk Pauh Limo ketika salah satu unit pembangkit mengalami trip/gangguan. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh koreksi tegangan akibat pemasangan kapasitor terhadap perbaikan tegangan pada saat operasi unit daya yang mengakibatkan jatuh tegangan dapat ditentukan dengan membuat simulasi menggunakan software ETAP 12.6.0. Ketika terjadi trip pada PLTU Ombilin, tegangan pada masing-masing GI mengalami penurunan tegangan yang bervariasi. Sehingga tegangan pada GI LBALG memiliki tegangan tertinggi yaitu 147,5 kV, dan GI SHARU memiliki tegangan 146,5 kV. Pada saat hasil simulasi aliran daya dalam kondisi normal tanpa pemasangan kapasitor bank pada GI PLIMO maka GI PIP memiliki tegangan tertinggi yaitu 145,5 kV, Sedangkan GI SHARU memiliki tegangan 144,1 kV yang paling rendah voltase. Persentase drop tegangan terendah adalah 4,09% pada GI SHARU. Sedangkan pada kondisi normal, dengan pemasangan kapasitor INDRG GI memiliki tegangan tertinggi

yaitu 148,4 kV, dan GI SHARU memiliki tegangan terendah yaitu 147,5 kV. Persentase penurunan tegangan terendah adalah 1,69%. Perbandingan tegangan GI tanpa pemasangan kapasitor pada kondisi normal dan trip ombilin GI generator LBALG beroperasi pada mode swing, sehingga tegangan pada LBALG GI akan tetap sama pada level 147,5 kV. Sedangkan pada tegangan GI dengan pemasangan kapasitor pada kondisi normal dan secara keseluruhan ombilin generator trip maka INDRG GI mengalami penurunan tegangan terbesar yaitu 147,3 dengan penurunan tegangan sebesar 0,746775% [4].

James Phelipus Ulahayanan, Lily Setyowaty Patras, Fielman Lisi, 2019

"Studi Perbaikan Kualitas Tegangan Pada Jaringan Distribusi Primer 20 kV di Kota Gorontalo" Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis perbaikan kualitas tegangan pada jaringan distribusi primer 20 kV di kota Gorontalo. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah melalui studi pustaka, studi lapangan, diskusi serta menganalisa perbaikan kualitas tegangan pada jaringan distribusi primer 20 kV di kota Gorontalo, khususnya pada penyulang IS3. Berdasarkan hasil analisis berdasarkan data yang dihitung pada IS3 didapati nilai tegangan drop jauh melebihi standar yaitu hanya 14650,136 volt. Sedangkan untuk standar tegangan yang diterima adalah + 10% dari tegangan nominal dimana tegangan nominal sebesar 20000 volt, jika tegangan yang diterima di ujung standarnya sebesar 18000 volt [5].

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan seperti pada beberapa jurnal di atas dapat dibahas tentang perbaikan drop tegangan dan rugi – rugi daya menggunakan kapasitor bank pada jaringan distribusi 20 kV berbasis simulasi ETAP 12.6 sistem jaringan distribusi 20 kV di Pesisir Selatan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem jaringan distribusi tenaga listrik

Jaringan distribusi merupakan jaringan tenaga listrik yang mendistribusikan energi listrik kepada pelanggan dengan sumber tegangan menengah 20 kV menjadi tegangan rendah 220-380 V. Sistem distribusi dimulai dari *feeder* yang keluar dari GH (Gardu Hubung) disalurkan melalui

penghantar berupa kawat yang terbuat dari aluminium pada jaringan distribusi. Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memiliki nilai tegangan yang tidak melebihi batas toleransi serta rugi-rugi daya yang kecil. Batas toleransi yang diperbolehkan untuk suatu nilai tegangan $\pm 10\%$ dari nilai nominalnya

Sistem jaringan distribusi primer merupakan bagian dari sistem tenaga listrik antara gardu induk (GI) dan gardu distribusi. Jaringan distribusi primer pada umumnya terdiri dari jaringan 3 fasa dengan 3 kawat atau 4 kawat. Sedangkan Jaringan distribusi sekunder merupakan bagian dari sistem distribusi yang bertugas mendistribusikan tenaga listrik secara langsung dari trafo distribusi ke pelanggan. Pada jaringan distribusi sekunder tegangan menengah 20 kV diturunkan oleh transformator distribusi pada gardu distribusi menjadi tegangan rendah 380/220 V dan untuk selanjutnya disalurkan ke konsumen melalui saluran distribusi sekunder.

Sistem distribusi ini dapat dikelompokkan ke dalam dua tingkat yaitu :

1. Sistem Jaringan Distribusi Primer disebut Jaringan Tegangan Menengah.

Distribusi primer disebut juga tegangan menengah, yaitu jaringan yang menghubungkan gardu induk dengan gardu distribusi yang biasanya menggunakan tegangan distribusi 6 kV, 7 kV, 12 kV, 20 kV. Jaringan Distribusi Primer atau JTM merupakan fasa-tiga sedangkan jaringan distribusi sekunder atau Jaringan Tegangan Rendah (JTR) merupakan fasa-tunggal dan fasa-tiga dengan empat kawat. Di Indonesia umumnya tegangan yang digunakan pada sistem distribusi jaringan tegangan rendah adalah 380/220 volt.

2. Sistem Jaringan Distribusi Sekunder disebut Jaringan Tegangan Rendah.

Sistem distribusi sekunder yang lazim disebut jaringan tegangan rendah (JTR) dimulai dari sisi sekunder trafo distribusi sampai dengan sambungan rumah (SR) pada pelanggan yang berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik dari gardu distribusi ke pelanggan dengan tegangan operasi yakni tegangan rendah (400/230 Volt, 380/220 Volt).

Pada saat ini SUTR yang menggunakan kabel telah banyak digunakan oleh PLN untuk mengurangi gangguan yang disebabkan oleh gangguan pohon dan gangguan lain yang disebabkan oleh perbuatan manusia. Untuk kabel sambungan rumah (SR) ke pelanggan saat ini telah digunakan *twisted* kabel dengan inti penghantar ada dari material aluminium dan tembaga.

Sistem jaringan sekunder yang baik pada saat ini harus memberikan taraf keandalan pada jaringan tegangan rendah di daerah dengan kepadatan beban yang tinggi, dengan menjamin bahwa energi listrik yang sampai ke pelanggan mempunyai mutu yang baik, sehingga biayanya yang tinggi dapat dipertanggung jawabkan dan tingkat keandalan ini dipandang perlu.

Jaringan sekunder tegangan rendah mendapat pengisian terbanyak dari tiga atau lebih feeder, sehingga bilamana salah satu feeder primer terganggu, sisa jaringan sekunder akan dapat dengan mudah menampung beban dari feeder yang terganggu itu. Sistem demikian dinamakan jaringan kedua (*second contingency network*). Jaringan sekunder tegangan rendah harus didesain sedemikian rupa hingga terdapat pembagian beban dan pengaturan tegangan (*voltage regulation*) yang baik.

Ada Beberapa Bentuk Sistem Tenaga Listrik Distribusi, yaitu :

➤ ***Sistem Radial***

Merupakan jaringan sistem distribusi primer yang sederhana dan murah biaya investasinya. Pada jaringan ini arus yang paling besar adalah yang paling dekat dengan Gardu Induk. Tipe ini dalam penyaluran energi listrik kurang handal karena bila terjadi gangguan pada penyulang maka akan menyebabkan terjadinya pemadaman pada penyulang tersebut.

➤ ***Sistem Ring/Loop***

Tipe ini merupakan jaringan distribusi primer, gabungan dari dua tipe jaringan radial dimana ujung kedua jaringan dipasang PMT. Pada keadaan normal tipe ini bekerja secara radial dan pada saat terjadi gangguan PMT dapat dioperasikan sehingga gangguan dapat terlokalisir.

Tipe ini lebih handal dalam penyaluran tenaga listrik dibandingkan tipe radial namun biaya investasi lebih mahal.

➤ ***Sistem Spindle***

Jaringan ini merupakan jaringan distribusi primer gabungan dari struktur radial yang ujung-ujungnya dapat disatukan pada gardu hubung dan terdapat penyulang ekspres. Penyulang ekspres (*express feeder*) ini harus selalu dalam keadaan bertegangan, dan siap terus menerus untuk menjamin bekerjanya system dalam menyalurkan energi listrik ke beban pada saat terjadi gangguan atau pemeliharaan. Dalam keadaan normal tipe ini beroperasi secara radial.

2.2.2 Studi Aliran Beban

Studi aliran beban merupakan penentuan dan perhitungan arus, tegangan, daya aktif, daya reaktif dan faktor daya yang berada pada berbagai titik dalam suatu jaringan sistem tenaga listrik pada keadaan pengoperasian normal. Studi aliran beban dilakukan untuk memastikan transfer listrik stabil dan mampu menyuplai beban.

Studi analisis aliran beban dimaksudkan untuk memperoleh informasi mengenai aliran daya atau tegangan pada suatu jaringan sistem tenaga listrik. Informasi ini sangat dibutuhkan untuk mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga. Permasalahan aliran daya mencakup perhitungan aliran dan tegangan sistem pada terminal atau bus tertentu. Manfaat studi aliran daya ini yaitu, untuk mengetahui tegangan pada setiap simpul yang ada pada sistem, untuk mengetahui semua peralatan apakah memenuhi batas-batas yang ditentukan untuk meyalurkan daya yang diinginkan, dan untuk memperoleh kondisi mula pada perencanaan sistem yang baru.

Untuk menetapkan daya pada bus i ke bus ke j pada sistem tenaga yang terdiri n bus diperlihatkan sebagai berikut :

$$S_i = P_i + jQ_i = (PG_i - PL_i - PT_i) + j(QG_i - QL_i - QT_i) \quad (2.1)$$

Dimana :

S_i = daya semu tiga fasa pada bus ke i

P_i = daya aktif tiga fasa pada bus ke i

Q_i = daya reaktif tiga fasa pada bus ke i

P_{Gi} = daya aktif generator tiga fasa yang dibangkitkan ke dalam bus i

P_{Li} = daya aktif beban tiga fasa keluar dari bus i

P_{Ti} = daya aktif ditransfer meninggalkan bus i ke bus lain

Q_{Gi} = daya reaktif generator tiga fasa yang dibangkitkan ke dalam bus i

Q_{Li} = daya reaktif beban tiga fasa keluar dari beban pada bus i

Q_{Ti} = daya reaktif ditransfer meninggalkan bus i ke bus lain.

Daya kompleks aktif dan reaktif pada bus ke i dapat dinyatakan sbb :

$$V_i I_i = P_i + jQ_i \quad (2.2)$$

$$I_i = \frac{P_i + jQ_i}{V_i^*} \quad (2.3)$$

Dasar persamaan Aliran Beban dengan metode Newton Raphson :

$$V_i = e_i + jf_i \quad (2.4)$$

$$Y_{ij} = G_{ij} - jB_{ij} \quad (2.5)$$

$$S_i = P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (2.6)$$

$$V_j^* = e_j - jf_j \quad (2.7)$$

2.2.3 Drop Tegangan

Drop tegangan merupakan selisih tegangan pada sisi kirim dengan tegangan pada sisi terima. Pelanggan yang berada di daerah yang jauh dari gardu distribusi cenderung menerima tegangan yang nilainya lebih kecil daripada di daerah yang dekat dengan gardu distribusi. Permasalahan muncul karena konsumen memakai peralatan dengan tegangan yang besarnya sudah ditentukan. Apabila terjadi penurunan tegangan hingga di luar batas toleransi yang diizinkan, maka secara teknis akan mengakibatkan terganggunya kinerja peralatan listrik pelanggan. Misalnya, nyala lampu pijar menjadi redup dan motor listrik tidak bisa start. Untuk mengatasi susut tegangan tersebut maka diperlukan pemilihan luas penampang kabel yang tepat supaya keandalan sistem penyaluran tenaga listrik berjalan dengan

baik, sedangkan menurut SPLN No.72 Tahun 1987, bahwa jatuh tegangan yang diperbolehkan adalah 5% dari tegangan kerja, dan Surat Edaran Kementerian ESDM DJK No.50K/23/DJL.3/2017 tentang tegangan menengah terendah titik pemakaian dan deklarasinya adalah 18kV.

Panjang Saluran

Panjangnya saluran distribusi merupakan salah satu masalah penyebab turunnya profil tegangan dan menimbulkan rugi – rugi daya yang di sebabkan panjangnya konduktor penghantar. Oleh karna itu semakin panjang saluran distribusi maka semakin besar pula rugi – rugi daya yang ditimbulkan. Sehingga diperlukan pemasangan kapasitor bank untuk menyelesaikan masalah tersebut. Dengan melakukan pemasangan kapasitor bank dapat ditentukan pada jarak tertentu. Untuk mencari jarak dilakukannya perhitungan dengan rumus :

$$\ell = \frac{V_d(5\%)}{\sqrt{3} \times I \times (R \cos \phi + jX \sin \phi)} \quad (2.8)$$

Dimana :

- ✓ ℓ = Panjang saluran (m)
- ✓ V_d = Tegangan yang di inginkan (%)
- ✓ I = Arus yang mengalir (Amper)
- ✓ R = Tahanan saluran (Ohm)
- ✓ X = Reaktansi (Ohm)
- ✓ $\cos \phi$ = Sudut dari faktor daya beban

Impedansi Saluran

Perhitungan jatuh tegangan, resistansi dan reaktansi kedua konduktor perlu diperhitungkan. Paduan antara resistansi dan reaktansi disebut dengan impedansi yang dinyatakan satuannya dalam ohm. Impedansi dapat dihitung dengan rumus :

$$Z = R + jX \quad (2.9)$$

Maka :

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (2.10)$$

Keterangan :

Z = Impedansi saluran (Ohm)

R = Tahanan saluran (Ohm)

X = Reaktansi (Ohm)

Tahanan

Tiap konduktor memberi perlawanan atau tahanan terhadap mengalirnya arus listrik dan hal ini dinamakan resistensi. Resistensi atau tahanan dari suatu konduktor (kawat penghantar) diberikan oleh :

$$R = \frac{\rho \times l}{A} \quad (2.11)$$

Dimana :

R = Resistansi (Ohm)

ρ = Resistivitas ($\Omega mm^2/m$)

l = Panjang kawat (meter)

A = Luas penampang kawat (mm^2)

Reaktansi

Sebuah konduktor yang dilalui arus listrik dikelilingi oleh garis-garis magnetic yang berbentuk lingkaran-lingkaran konsentrik. Dalam hal ini arus bolak-balik medan sekeliling konduktor tidaklah konstan melainkan berubah-ubah dan mengait dengan konduktor itu sendiri maupun dengan konduktor-konduktor lain yang terletak berdekatan. Oleh karena adanya kaitan-kaitan fluks tersebut, saluran memiliki sifat induktansi. Reaktansi induktif dari saluran udara tiga. Reaktansi penghantar untuk jaringan distribusi pada umumnya terdiri dari induktansi, maka reaktansinya disebut induktif (X_L) yang dapat dihitung dengan rumus :

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L \quad (2.12)$$

Dimana :

X_L = Reaktansi induktif (Ohm)

f = Frekuensi (Hz)

L = Induktansi (Henry)

Bahwa reaktansi suatu instalasi listrik tergantung dari :

1. Jarak antar konduktor, yaitu ; semakin besar jarak, semakin besar pula reaktansi.
2. Radius konduktor, yaitu ; berkurang atau bertambahnya radius.
3. Panjang saluran, yaitu : akan bertambahnya nilai reaktansi.

Terjadinya jatuh tegangan pada saluran disuatu lokasi adalah disebabkan oleh bagian yang berbeda tegangan didalam suatu sistem daya tersebut dan juga dipengaruhi oleh resistansi, reaktansi, dan impedansi pada saluran. Jatuh tegangan pada saluran adalah selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman dengan tegangan pada ujung penerimaan tenaga listrik. Untuk menghitung drop tegangan pada tegangan menengah impedansi saluran termasuk mempengaruhi, maka :

Saluran distribusi tegangan menengah di PT. PLN (Persero) Rayon Lakuak Kambang, pada umumnya menggunakan saluran udara sistem tiga fasa. Jenis saluran yang digunakan AAAC 150 mm² , 95 mm² , 70 mm². Jatuh tegangan pada SUTM 20 kV sistem tiga fasa dapat dirumuskan :

$$Vd = \sqrt{3} \cdot \ell \cdot I (R \cos \varphi + jX \sin \varphi) \quad (2.13)$$

Dimana :

✓ Vd = Penurunan Tegangan (Volt)

✓ ℓ = Panjang Saluran (m)

✓ I = Besar Arus (Amper)

✓ $\cos \phi$ = Faktor daya

Jatuh tegangan dalam persen yaitu :

$$Vd (\%) = \frac{Vd}{Vk} \times 100\% \quad (2.14)$$

$$Vt = Vk - Vd \quad (2.15)$$

Dimana :

Vd = Drop Tegangan (%)

Vt = Tegangan Terima (V)

Vk = Tegangan Kirim (V)

$$Vk = Vt + Vd \quad (2.16)$$

Dimana :

Vd = Drop Tegangan (%)

Vt = Tegangan Terima (V)

Vk = Tegangan Kirim (V)

Besarnya kerugian tegangan atau tegangan jatuh (*drop voltage*) yang terjadi pada suatu jaringan listrik, dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Panjang Kabel Penghantar
Semakin panjang kabel penghantar yang digunakan, maka semakin besar kerugian tegangan atau tegangan jatuh yang terjadi.
2. Besar Arus
Semakin besar arus listrik yang mengalir pada penghantar, maka semakin besar kerugian tegangan atau tegangan jatuh yang terjadi.
3. Tahanan Jenis Penghantar (ρ)
Semakin besar tahanan jenis dari bahan penghantar yang digunakan, maka semakin besar kerugian tegangan atau tegangan jatuh yang terjadi. Kombinasi antara resistansi dan reaktansi disebut dengan impedansi yang dinyatakan dalam satuan ohm.
4. Luas Penampang Penghantar
Semakin besar ukuran luas penampang penghantar yang digunakan, maka semakin kecil kerugian tegangan atau tegangan jatuh yang terjadi.

Perhitungan jatuh tegangan pada jaring distribusi adalah selisih antara tegangan pangkal pengirim (*sending end*) dengan tegangan pada ujung penerima (*receiving end*). Jatuh tegangan terjadi karena ada pengaruh dari tahanan dan reaktansi saluran, perbedaan sudut fasa antara arus dan tegangan serta besar arus beban, jatuh tegangan pada saluran bolak-balik tergantung pada impedansi, beban, dan jarak.

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 yaitu :

1. Membangun pembangkit pembantu
2. Membangun gardu induk baru dan jaringan baru
3. Merubah jaringan 1Ø menjadi 3Ø
4. Pемindahan beban ke penyulang lain
5. Penyeimbangan beban
6. Pengaturan tegangan penyulang menggunakan alat pengatur tegangan
7. Memperbesar penampang hantaran
8. Pemasangan kapasitor

2.2.4 Rugi – rugi daya (Losses)

Rugi-rugi daya merupakan daya yang hilang dalam penyaluran daya listrik dari sumber daya listrik utama ke suatu beban seperti ke rumah-rumah, ke gedung-gedung, dan lain sebagainya. Dalam setiap penyaluran daya listrik ke beban pasti terdapat rugi-rugi daya yang diakibatkan oleh faktor-faktor tertentu seperti jarak saluran listrik ke beban yang terlalu jauh, yang juga akan berakibat bertambah besarnya tahanan saluran kabel yang digunakan.

Sehingga untuk mengurangi rugi-rugi daya dilakukan dengan pertimbangan:

1. Jika ingin memperkecil tahanan konduktor, maka luas penampang konduktor harus diperbesar. sedangkan luas penampang konduktor ada batasnya.
2. Jika ingin memperbaiki faktor daya beban, maka perlu dipasang kapasitor kompensasi (shunt capacitor). perbaikan faktor daya yang diperoleh dengan pemasangan kapasitor pun ada batasnya.
3. Rugi-rugi transmisi berbanding lurus dengan besar tahanan konduktor dan berbanding terbalik dengan kuadrat tegangan transmisi, sehingga pengurangan rugi-rugi daya yang diperoleh karena peninggian tegangan transmisi jauh lebih efektif daripada pengurangan rugi-rugi daya dengan mengurangi nilai tahanan konduktornya.

Besarnya rugi-rugi daya pada jaringan tiga fasa adalah sebagai berikut :

$$P_{\text{loss}} = 3 \times I^2 \times R \times \ell \quad (2.17)$$

$$P_{\text{loss}} = (P^2 \times R \times \ell) / (V^2 \times (\text{Cos } \emptyset)^2) \quad (2.18)$$

Dengan

$$I = P / (\sqrt{3} \times V \times \text{Cos } \emptyset) \quad (2.19)$$

Dimana

$$P_{\text{loss}} = 3 \times I^2 \times R \times \ell \quad (2.20)$$

$$P_{\text{loss}} = (3 \times (P)^2 \times R \times \ell) / ((\sqrt{3})^2 \times (V)^2 \times (\text{Cos } \emptyset)^2) \quad (2.21)$$

$$P_{\text{loss}} = (3 \times P^2 \times R \times \ell) / (3 \times V^2 \times (\text{Cos } \emptyset)^2) \quad (2.22)$$

$$P_{\text{loss}} = (P^2 \times R \times \ell) / (V^2 \times (\text{Cos } \emptyset)^2) \quad (2.23)$$

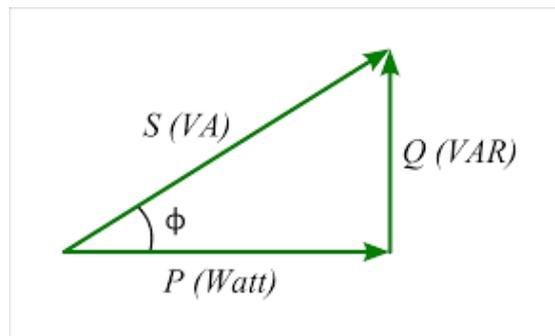
Dimana :

- ✓ P_{loss} = Rugi-rugi daya (Watt)
- ✓ P = Daya yang disalurkan (Watt)
- ✓ V = Tegangan kerja sistem (Volt)
- ✓ I = Arus yang disalurkan (Amper)
- ✓ R = Tahanan (Ohm/ meter)
- ✓ ℓ = Panjang Saluran (meter)
- ✓ $\text{Cos } \emptyset$ = Faktor Daya

2.2.5 Faktor Daya

Dalam rangkaian listrik, biasanya terdapat tiga macam beban listrik yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Beban resistif adalah beban yang hanya terdiri dari tahanan dalam satuan ohm dan daya yang dikonsumsi hanya daya aktif saja. Beban induktif mempunyai ciri-ciri disamping mengkonsumsi daya aktif, juga menyerap daya reaktif yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet dalam beban tersebut, jadi jumlah vektor dari daya reaktif (Q)

dan daya aktif (P) biasa disebut dengan daya semu (S) seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.1 Segitiga Daya

Factor daya ($\cos \phi$) dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya nyata (VA) yang digunakan dalam sirkuit A atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam :

$$\begin{aligned} \text{Faktor daya} &= \text{Daya aktif (P)} / \text{Daya nyata (S)} \\ &= \text{kW} / \text{kVA} \\ &= V \cdot I \cos \phi / V \cdot I \\ &= \cos \phi \end{aligned}$$

Daya merupakan jumlah daya listrik tiap satuan waktu. Daya listrik dibagi menjadi 3, yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya semu atau disebut juga dengan segitiga daya.

1. Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang sebenarnya digunakan oleh konsumen. Daya aktif memiliki satuan watt. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk mendapatkan besar daya aktif.

- Daya Aktif 1 Fasa

$$P = V \times \cos \phi \quad (2.24)$$

- Daya Aktif 3 Fasa

$$\sqrt{3} \times V \times \cos \phi \quad (2.25)$$

2. Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan daya yang digunakan untuk menghasilkan medan magnet. Daya reaktif diberi simbol Q , sedangkan satuan daya reaktif adalah VAR (*Volt Ampere Reaktif*). berikut adalah persamaan yang digunakan untuk mendapatkan daya reaktif.

- Daya Reaktif 1 Phasa

$$Q = V \times I \sin \varphi \quad (2.26)$$

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \sin \varphi \quad (2.27)$$

3. Daya Semu

Daya semu merupakan daya yang dibangkitkan oleh generator pada sistem pembangkit listrik. Daya semu diberi simbol S dan memiliki satuan VA (*Volt Ampere*). Daya semu terdiri dari daya aktif dan reaktif, persamaan yang digunakan untuk mendapatkan daya semu tiga fasa yaitu.

- Daya Semu 1 Phasa

$$S = V \cdot I \quad (2.28)$$

- Daya Semu 3 Phasa

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (2.29)$$

Seperti kita ketahui bahwa harga $\cos \phi$ adalah mulai dari 0s/d 1 berarti kondisi terbaik yaitu pada saat harga P (kW) maksimum P (kW) = S (kVA) atau $\cos \phi = 1$ dan ini disebut juga terbaik. Secara teoritis sistem dengan power factor yang rendah tentu akan menyebabkan arus yang dibutuhkan dari pensuplai menjadi besar. Hal ini menyebabkan jatuh tegangan menjadi besar. Jika nilai daya itu diperbesar biasanya yang dilakukan oleh pelanggan industry maka rugi-rugi daya menjadi besar sedangkan daya aktif dan tegangan yang sampai ke konsumen berkurang.

Kerugian $\cos \phi$ dibagi menjadi 2 kondisi yaitu lagging dan leading. Kondisi lagging adalah kondisi dimana fase tegangan mendahului fase arus sebesar sudut φ . Sedangkan kondisi leading adalah kondisi dimana fase arus

mendahului fase tegangan. Maka dari itu dibutuhkanlah kapasitor menyetabilkan faktor daya.

2.2.6 Kapasitor bank

Kapasitor bank merupakan kumpulan dari beberapa kapasitor yang biasanya punya spesifikasi yang sama dan dihubungkan secara rangkaian seri atau paralel, agar mendapatkan suatu nilai kapasitas. Fungsi kapasitor bank untuk memperbaiki faktor daya jaringan, mengurangi kerugian jaringan, menetralkan atau meniadakan tegangan yang turun dan memperbaiki stabilitas tegangan.

Kapasitor bank dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Kapasitor bank

Dalam perbaikan menggunakan kapasitor ini dapat memperbaiki daya reaktif dari saluran sehingga tegangan drop dari saluran dapat berkurang. Dari data simulasi kita akan dapat menentukan parameter kapasitor yang akan kita gunakan sebagai pembantu agar dapat mengurangi tegangan drop. Kapasitor bank yang digunakan, akan memperbaiki faktor daya feeder tersebut menjadi bernilai satu. Sebelum dilakukannya pemasangan kapasitor diawali dengan perhitungan kapasitas daya dan penentuan nilai kapasitas kapasitor yang di butuhkan dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_C = Q_L - Q_B \quad (2.30)$$

Dimana :

$$\checkmark Q_C = \text{Kapasitas Daya reaktif (VAR)}$$

✓ Q_L = Daya Reaktif Lama (VAR)

✓ Q_B = Daya Reaktif Baru (VAR)

$$Q_L = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi_L \quad (2.31)$$

Dimana :

✓ Q_L = Daya reaktif lama (VAR)

✓ V = Tegangan sumber (Volt)

✓ I = Arus yang disalurkan (Amper)

✓ $\cos \phi$ = Faktor Daya

$$Q_b = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi_L \quad (2.32)$$

Dimana :

✓ Q_b = Daya reaktif lama (VAR)

✓ V = Tegangan sumber (Volt)

✓ I = Arus yang disalurkan (Amper)

✓ $\cos \phi$ = Faktor Daya

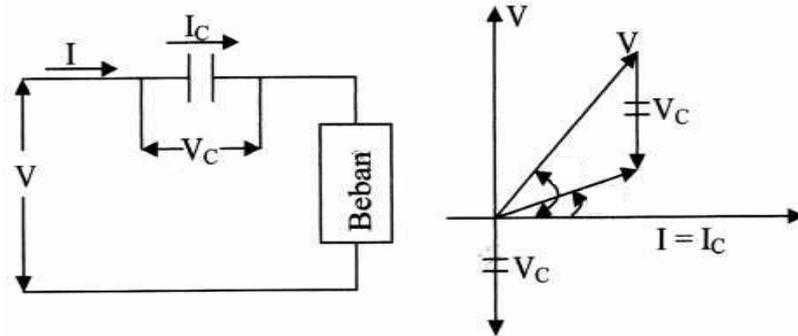
Untuk mencari letak penempatan yang paling optimum, perlu dilakukan pengujian dengan menempatkan bank kapasitor yang telah dihitung, pada tiap penempatan bank kapasitor pada gardu distribusi, harus disimulasikan dalam perangkat lunak ETAP 12.6.0. Dari hasil simulasi akan diketahui rugi-rugi daya yang terjadi pada penyulang, pada tiap penempatan. Untuk pemasangan kapasitor dikenal dua macam cara yaitu :

- Penggunaan kapasitor seri

Disebut kapasitor seri, bila sistem kapasitor dirangkai seri dengan beban. Kapasitansi total dapat diubah dengan cara menghubungkan beberapa

kapasitor secara seri atau paralel. Kapasitansi total dapat dikurangi, bila kapasitor dihungkan secara seri seperti pada gambar 2.3. Besar kapasitansi C_T dapat dikalkulasi sebagai berikut:

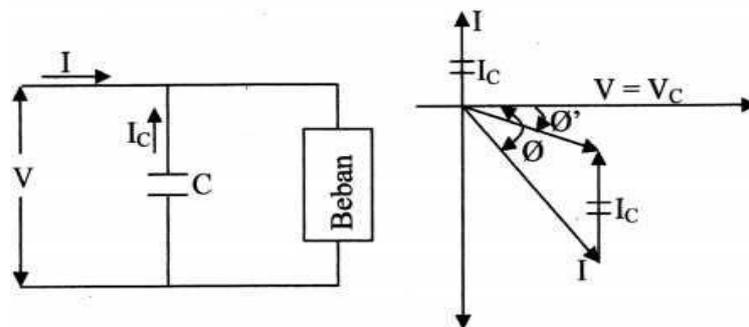
$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} = \frac{1}{C_2} + \dots \tag{2.33}$$



Gambar 2.3 Rangkaian dan diagram vektor kapasitor seri

- Penggunaan kapasitor shunt

Disebut kapasitor shunt, bila sistem kapasitor dirangkai paraleldengan beban. Untuk hubungan paralel, kapasitansi total dapat dinaikkan bila kapasitor dihubungkan secara paralel seperti pada gambar 2.3, Besar kapasitansi C_T dapat dihitung dengan cara:



Gambar 2.4 Rangkaian dan diagram vektor kapasitor shunt

Dimana :

ϕ = sudut faktor daya mula-mula

ϕ' = sudut faktor daya setelah pemasangan kapasitor seri dengan paralel

Tabel 2.1 Pemilihan kapasitor seri dan paralel

No	Tujuan	Pilihan	
		Kapasitor seri	Kapasitor paralel
1.	Memperbaiki faktor daya	Kedua	Pertama
2.	Memperbaiki tingkat tegangan saluran pada sistem saluran udara	Pertama	Kedua
3.	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran udara dengan fd yang tinggi	Tidak dipakai	Pertama
4.	Memperbaiki tegangan pada sistem saluran bawah tanah dengan fd normal dan rendah	Pertama	Tidak dipakai
5.	Memperbaiki tegangan pada sistem saluran bawah tanah dengan fd tinggi	Tidak dipakai	Tidak dipakai
6.	Mengurangi kerugian saluran	Kedua	Pertama
7.	Mengurangi fluktuasi tegangan	Pertama	Tidak dipakai

Kapasitor seri dan paralel pada sistem daya menimbulkan daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya dan tegangan, karenanya menambah sistem dan mengurangi kerugian. Dalam kapasitor seri daya reaktif sebanding dengan kuadrat arus beban, sedang kapasitor paralel sebanding dengan kuadrat tegangan. Ada beberapa aspek tertentu yang tidak menyenangkan pada kapasitor seri. Secara umum dapat dikatakan bahwa biaya untuk memasang kapasitor seri lebih tinggi dari biaya pemasangan kapasitor paralel. Hal ini disebabkan karena peralatan perlindungan untuk kapasitor seri sering lebih kompleks. Juga biasanya, kapasitor seri didesain untuk daya yang lebih besar dari pada kapasitor paralel untuk mengatasi pengembangan beban nantinya. Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan antara kapasitor seri dan paralel disajikan dalam tabel. Karena banyaknya keterbatasan untuk menggunakan kapasitor seri, banyak dipakai kapasitor paralel dalam distribusi.

Penggunaan Kapasitor Daya pada sistim Kapasitor Bank dihubungkan secara Bintang (Y) dan adapula secara Segitiga (Delta). Penerapan diantara kedua jenis hubungan tersebut disesuaikan dengan maksud tertentu seperti sistim tegangan, nilai kVAR, fungsi proteksi seperti pendeteksian ketika kapasitor rusak dan lain sebagainya. Kapasitor Bank yang kapasitornya dihubungkan secara delta umumnya banyak diterapkan pada sistim tegangan rendah (low voltage) biasanya pada tegangan 380 VAC. Namun demikian bukan berarti kapasitor dengan hubungan segitiga tidak bisa diterapkan pada tegangan medium voltage (> 1 kV).

Penetapan hubungan delta pada sistim low voltage adalah pada pertimbangan faktor ekonomis. Dimana harga sebuah kapasitor dengan nilai kapasitansi yang sama akan menjadi lebih mahal ketika nilai rating tegangannya lebih tinggi. Ketika kapasitor terhubung secara segitiga (Delta), kedua terminal dari sebuah kapasitor tersebut terhubung secara phasa ke phasa ketegangan sistim. Sehingga ketika dihubungkan ke suplay , tegangan yang ada pada ke dua terminal kapasitor adalah misalkan 380 VAC (Sesuai tegangan sistim). Dan apabila hubungan ini diterapkan pada tegangan diatasnya (> 1 kV, Medium Voltage), maka dibutuhkan kapasitor yang besaran tegangannya harus sama dengan nilai tegangan phasa ke phasa sistim tersebut. Sehingga apabila digunakan pada Medium Voltage dengan nilai 6.3 kV atau 20 kV, maka kapasitas tegangan kapasitor tersebut haruslah pada 6.3 kV sehingga dari sisi ekonomis tentu saja lebih mahal. Penyesuaian hubungan Delta dan Segitga pada rating tegangan tertentu disamping menguntungkan dari sisi ekonomis, berdampak juga terhadap perubahan nilai kVAR kapasitor tersebut.

Rumus menghitung nilai kVAR (Q) kapasitor terhubung delta (segitiga) :

$$Q = \frac{3V^2}{X_c} \quad (2.34)$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c} \quad (2.35)$$

Dimana :

- ✓ Q = Daya reaktif (VAR)
- ✓ V = Tegangan sistim phasa ke phasa (Volt)

- ✓ X_c = Reaktansi kapasitif (ohm)
- ✓ F = Frekuensi sistim (Hz)
- ✓ C = Nilai kapasitor (Farad)

Rumus menghitung nilai kVAR (Q) kapasitor terhubung Bintang (Y):

$$Q = \frac{V^2}{X_c} \quad (2.36)$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c} \quad (2.37)$$

Dimana :

- ✓ Q = Daya reaktif (VAR)
- ✓ V = Tegangan sistim phasa ke phasa (Volt)
- ✓ X_c = Reaktansi kapasitif (ohm)
- ✓ f = Frekuensi sistim (Hz)
- ✓ C = Nilai kapasitor (Farad)

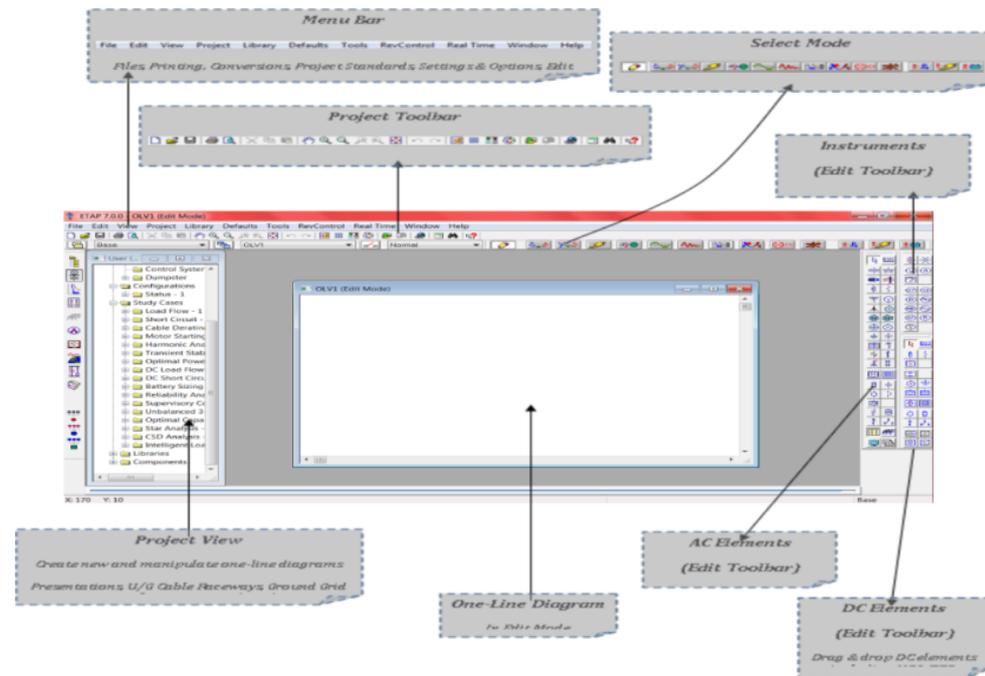
Dari rumus diatas terlihat bahwa nilai Q (VAR) pada hubungan Delta (Segitiga) tiga kali lebih besar dari nilai VAR pada hubungan Bintang untuk nilai V dan C yang sama.

2.2.7 Software ETAP 12.6

ETAP kepanjangan dari *Electric Transient and Analysis Program* adalah suatu *software* yang digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk membuat simulasi saat atau sebelum melakukan perancangan yang digunakan untuk menganalisa sistem jaringan mulai dari pembangkit, sistem transmisi, sistem distribusi sampai dengan ke beban. Secara umum ETAP dapat digunakan untuk simulasi hasil perancangan dan analisis suatu sistem tenaga listrik yang meliputi:

1. Menggambarkan denah beban-beban
2. Men-setting data-data beban dan jaringan
3. Merancang diagram satu garis (One Line Diagram)
4. Menganalisis aliran daya (Load Flow)

Adapun tampilan Program ETAP Power Station sebagaimana tampak ada gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 Tampilan ETAP

ETAP Power Station dapat melakukan penggambaran single line diagram secara grafis dan mengadakan beberapa analisa atau studi yakni Load Flow (*aliran daya*), Short Circuit (*hubung singkat*), starting motor, harmonic, transient stability, protective device coordination, dan cable derating.

ETAP Power Station juga menyediakan fasilitas library yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. Library ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan bila perlu. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP Power Station adalah :

- ❖ **One Line Diagram**, menunjukkan hubungan antar komponen atau peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
- ❖ **Library**, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail atau lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi atau analisa.

- ❖ **Standar yang dipakai**, biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode-metode yang dipakai.
- ❖ **Study Case**, berisikan parameter-parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa.
- ❖ **Setting**, berisikan parameter-parameter pengaturan yaitu loading categories, generations categories, loading priority.
- ❖ **Tools**, berisikan pengatur peralatan yaitu bus size, symbol, orientation, rotate, colors, dan classification.

➤ **Elemen AC Proteksi Sistem Tenaga Listrik**

Komponen elemen AC pada software power station ETAP dalam bentuk diagram satu garis ditunjukkan pada gambar, kecuali elemen-elemen IDs, penghubung bus dan status. Daftar seluruh elemen AC pada software power station ETAP ada pada AC toolbar seperti gambar berikut 2.6



Gambar 2.6 Element AC Pada ETAP 12.6

1. Transformator

Transformator 2 kawat sistem distribusi dimasukkan dalam editor power station software transformator 2 kawat pada power station software ETAP ditunjukkan pada gambar symbol transformator 2 kawat seperti gambar 2.7.



Gambar 2.7 Transformator 2 kawat pada ETAP

2. Generator

Generator sinkron sistem distribusi tenaga listrik dimasukkan dalam editor power station ETAP berupa rating KV, rating MW, dan mode kerja yang ditampilkan pada bagian atas informasi editor generator. Simbol generator sinkron pada power station software ETAP seperti pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Simbol Generator Pada ETAP

3. Load

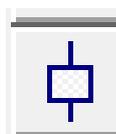
Beban listrik sistem distribusi tenaga listrik dimasukkan dalam editor power station ETAP berupa rated KV dan MVA yang ditampilkan pada bagian atas informasi editor load. Pada ETAP terdapat dua macam beban yaitu beban statis dan beban dinamis. Symbol generator sinkron pada power station software ETAP terlihat seperti pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Simbol beban statis dan dinamis pada ETAP

4. Pemutus Rangkaian

Pemutus rangkaian merupakan sebuah saklar otomatis yang dirancang untuk melindungi sebuah rangkaian listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh kelebihan beban atau hubungan pendek. Symbol pemutus rangkaian pada ETAP terlihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Simbol Pemutus Rangkaian Pada ETAP

5. Bus

Bus AC atau node sistem distribusi tenaga listrik dimasukkan dalam editor power station software ETAP. Editor bus sangat membantu untuk pemodelan berbagai tipe bus dalam sistem tenaga listrik, generator, motor, dan beban statis adalah elemen yang dapat dihubungkan dengan beberapa bus yang diinginkan. Simbol bus pada power station software ETAP terlihat seperti gambar 2.11.



Gambar 2.11 Simbol BUS pada ETAP

6. Power Grid

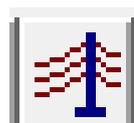
Power grid merupakan sumber tegangan yang ideal, artinya sumber tegangan yang mampu mensuplai daya dengan tegangan tetap sekalipun daya yang diserap cukup besar. Power grid dapat berupa gardu induk yang merupakan bagian dari sistem tenaga listrik, berikut symbol power grid pada ETAP terlihat seperti pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Simbol Power Grid Pada ETAP

7. Transmisson Line

Transmission line merupakan kawat penghantar pada saluran distribusi dan transmisi, berikut gambar symbol pada ETAP terlihat seperti pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Simbol Transmisson Line Pada ETAP

8. Element – element pada ETAP

Suatu sistem tenaga terdiri atas sub-sub bagian, salah satunya adalah aliran daya dan hubung singkat. Untuk membuat simulasi aliran daya dan hubung singkat, maka data-data yang dibutuhkan untuk menjalankan program simulasi antara lain,

❖ Data Generator

Berisi data-data rating generator yaitu MW (Mega Watt), kV (Kilo Volt), PF (Power Factor).

❖ Data Transformator

Berisi data rating trafo yaitu voltage rating, power rating, dan impedance trafo.

❖ Data Beban

Berisi data rating beban yaitu MVA (Mega Volt Ampere), Mvar (Mega Volt Ampere Reaktif), dan Arus (Ampere).

❖ Data Kawat Penghantar

Berisi data rating parameter penghantar saluran, dan impedansi saluran.

❖ Data Bus

Berisi data rating tegangan kirim pada bus

9. Element Aliran Daya

Program analisis aliran daya pada software ETAP dapat menghitung tegangan pada tiap-tiap cabang, aliran arus pada sistem tenaga listrik, dan aliran daya yang mengalir pada sistem tenaga listrik. Metode perhitungan aliran daya dapat dipilih untuk efisiensi perhitungan yang lebih baik. Metode perhitungan aliran daya pada software ETAP ada tiga, yaitu : Newton Raphson, Fast Decouple dan Gauss Seidel seperti yang telah diuraikan sebelumnya. Berikut adalah toolbar load flow

seperti pada gambar 2.14



Gambar 2.14 Toolbar load flow pada ETAP

Keterangan.

- Run Load Flow adalah icon toolbar aliran daya yang menghasilkan atau menampilkan hasil perhitungan aliran daya sistem distribusi tenaga listrik dalam diagram satu garis.
- Update Cable Load Current adalah icon toolbar untuk merubah kapasitas arus pada kabel sebelum load flow dirunning
- Display Option adalah bagian tombol untuk menampilkan hasil aliran daya.
- Alert adalah icon untuk menampilkan batas kritis dan marginal dari hasil keluaran aliran daya sistem distribusi tenaga listrik.
- Report Manager adalah icon untuk menampilkan hasil aliran daya dalam bentuk report yang dapat dicetak.

10. Element Hubung Singkat

Hubung singkat merupakan simulasi untuk menghitung analisa gangguan yang terjadi pada saluran bisa berupa analisa gangguan tiga phasa, dua phasa dan satu phasa ketanah. Berikut toolbar hubung singkat seperti pada gambar 2.15



Gambar 2.15 Toolbar hubung singkat pada ETAP

Keterangan.

- Gangguan tiga phasa yaitu toolbar untuk melihat nilai gangguan tiga phasa.
- Gangguan satu phasa yaitu icon toolbar untuk melihat nilai gangguan satu phasa.
- Display option adalah bagian tombol untuk menampilkan hasil gangguan hubung singkat.

11. Element Optimal Capacitor Placement

Optimal capacitor placement merupakan simulasi yang dapat memperbaiki level tegangan, factor daya sistem dengan menambah kapasitor pada bus yang mengalami drop tegangan secara otomatis. Artinya ETAP akan menghitung berapa kapasitas kapasitornya dan berapa jumlah bank kapasitor minimal yang mampu memperbaiki sistem sehingga kita tidak usah menghitung secara manual seperti terlihat pada gambar 2.16



Gambar 2.16 Toolbar Optimal Capacitor Placement

Keterangan :

- Optimal capacitor placement yaitu icon toolbar untuk memperbaiki drop tegangan.
- Display option adalah bagian tombol untuk menampilkan hasil optimal capasitor placement.

Report manager adalah icon untuk menampilkan hasil dalam bentuk report yang dapat dicetak.

2.3 Hipotesis

Hipotesis diambil dari beberapa landasan teori dan jurnal tentang Analisis perbaikan drop tegangan dan losses pada jaringan distribusi 20 kV berbasis simulasi ETAP 12.6, diharapkan dalam penelitian ini dapat dilakukan simulai perbaikan drop tegangan dan losses dengan memperbaiki faktor daya atau dengan melakukan pemasangannya kapasitor bank pada sistem jaringan distribusi 20 kV di Feeder Kayu Bawang.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan Penelitian

3.1.1 Alat Penelitian

Agar penelitian yang dilakukan tercapai sesuai dengan tujuan, dibutuhkan peralatan pendukung untuk melakukan penelitian, yaitu :

- Laptop

Laptop adalah sebuah komputer portable yang bisa dibawa kemana saja. Pada penelitian ini laptop yang digunakan berfungsi sebagai media utama dalam pembuatan laporan. Tipe laptop yang digunakan pada penelitian ini adalah HP EliteBook 8440p.



Gambar 3.1 Laptop HP EliteBook 8440p

- **Software ETAP 12.6**

ETAP kepanjangan dari *Electric Transient and Analysis Program* adalah suatu *software* yang digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk membuat simulasi saat atau sebelum melakukan perancangan yang digunakan untuk menganalisa sistem jaringan mulai dari pembangkit, sistem transmisi, sistem distribusi sampai dengan ke beban.



Gambar 3.2 Software ETAP

- Printer EPSON L120

Printer adalah alat yang menampilkan data dalam bentuk cetakan, baik berupa teks maupun gambar atau grafik, di atas kertas.



Gambar 3.3 Printer EPSON L120

- ATK (Alat Tulis Kantor)

ATK (Alat Tulis Kantor) merupakan alat yang digunakan untuk keperluan penelitian dalam pencatatan data.



Gambar 3.4 ATK (Alat Tulis Kantor)

- Internet

Internet pada penelitian ini digunakan sebagai kuota untuk mencari referensi jurnal tentang Implementasi Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Drop Tegangan dan Rugi – rugi Daya Jaringan Distribusi 20 kV Berbasis Simulasi ETAP 12.6

3.1.2 Bahan Penelitian

1. Single line diagram

Single line diagram merupakan gambar listrik satu garis, yang menjelaskan sistem kelistrikan pada gardu induk secara sederhana sehingga memudahkan mengetahui kondisi dan fungsi dari setiap bagian peralatan yang terpasang, untuk operasi maupun pemeliharaan.

2. Data

Dalam Implementasi Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Drop Tegangan dan Rugi – rugi Daya Jaringan Distribusi 20 kV Berbasis Simulasi ETAP 12.6, penulis membutuhkan data-data yang merupakan faktor penting dalam keberhasilan penelitian :

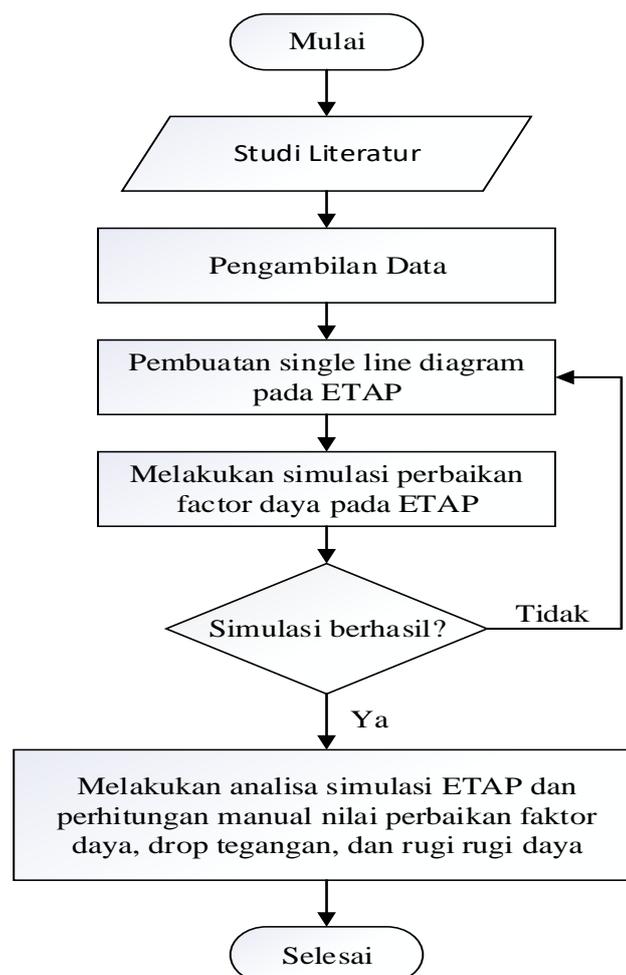
- a) Data Besar Drop Tegangan dan Losses
- b) Data Beban
- c) Data tegangan yang diterima dan terkirim pada tempat penelitian yang telah ditentukan.

3. Formula

Formula merupakan rumus yang digunakan untuk mencari berapa nilai drop tegangan dan losses yang didapatkan secara manual, sebelum dengan menggunakan software ETAP. ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas kearnanan fasilitas nuklir di Arnerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara real time, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik, (Awaluddin, 2007). ETAP

dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (one line diagram) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, starting motor, transient stability, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis. Dalam ETAP 12.6 ini terdapat beberapa standar baku seperti: standar yang digunakan plant (ANSI atau IEC), frekuensi, maupun jenis-jenis elemennya (elemen AC, instrument, maupun elemen DC) Terutama pada lingkungan industry dimana sistem tersebut harus jelas dari suplai sampai beban.

3.1.3 Alur Penelitian



Gambar 3.5 Alur metode penelitian

3.1.4 Deskripsi Sistem dan Analisis

Berikut adalah penjelasan dari gambar 3.5

1. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah yang penulis lakukan adalah melihat dari banyaknya permasalahan yang terjadi saat proses pendistribusian energi listrik. Maka diperlukan perbaikan drop tegangan dan losses menggunakan kapasitor bank, kapasitor ini dapat memperbaiki faktor daya feeder tersebut, menjadi bernilai satu (*unity*) sehingga drop tegangan dari saluran dapat berkurang

2. Studi Literatur

Penulis melakukan studi pustaka untuk mendapatkan referensi yang relevan dengan tujuan penelitian yaitu mempelajari system Implementasi Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Drop Tegangan dan losses Jaringan Distribusi 20 kV Berbasis Simulasi ETAP 12.6.

3. Diskusi dan Bimbingan

Penulis melakukan diskusi dan bimbingan dengan dosen pembimbing.

4. Pengumpulan Data

Setelah diskusi dan bimbingan, maka dilakukanlah pengumpulan data tentang drop tegangan dan rugi – rugi daya .

5. Perencanaan Simulasi ETAP, Diskusi dan Bimbingan

Perencanaan Simulasi ETAP Penulis merencanakan bagaimana melakukan simulasi dengan ETAP yang akan direalisasikan, dan melakukan diskusi dengan pembimbing.

6. Penulisan Laporan, Diskusi dan Bimbingan.

Penulisan laporan berdasarkan kepada hasil data yang telah diperhitungkan dan berdiskusi dengan pembimbing.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Deskripsi Penelitian

Kebutuhan masyarakat akan daya listrik yang terus meningkat di Pesisir Selatan seiring dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk dan peralatan yang dipakai. Kondisi ini memaksimalkan ketersediaan daya listrik yang efisien dan berkualitas. Efisien yang dimaksud daya yang diproduksi dapat digunakan secara maksimal oleh pelanggan atau tidak mengalami kehilangan daya pada jaringan.

Dalam penyaluran daya listrik terdapat beberapa masalah yang sering dihadapi diantaranya adalah “Jatuh Tegangan”. Besarnya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran distribusi tergantung pada beberapa faktor diantaranya jenis dan panjang saluran penghantar, Jatuh tegangan atau drop tegangan merupakan selisih tegangan pada sisi kirim dengan tegangan pada sisi terima. Pelanggan yang berada di daerah yang jauh dari gardu distribusi cenderung menerima tegangan yang nilainya lebih kecil dari pada di daerah yang dekat dengan gardu distribusi.

Dilihat dari banyaknya permasalahan yang terjadi saat proses pendistribusian energi listrik. Maka diperlukan perbaikan drop tegangan dan untuk mengetahui besar kecilnya jatuh tegangan sepanjang saluran distribusi menggunakan kapasitor bank, kapasitor ini dapat memperbaiki faktor daya feeder tersebut, menjadi bernilai satu (unity) sehingga drop tegangan dan losses dari saluran dapat berkurang.

Untuk mencari letak penempatan kapasitor yang tepat, perlu dilakukan pengujian dengan menempatkan bank kapasitor yang telah dihitung, pada setiap gardu distribusi di sepanjang penyulang yang akan dipasang bank kapasitor. Pada tiap penempatan bank kapasitor pada gardu distribusi, harus disimulasikan dalam perangkat lunak ETAP 12.6.0. Dari hasil simulasi akan diketahui rugi-rugi daya yang terjadi pada penyulang, Penempatan bank kapasitor yang menghasilkan pengurangan rugi-rugi daya paling besar merupakan penempatan yang paling optimal.

Tabel 4.2 Data Beban F. Padang Panjang/Kayu Bawang Dalam Bulan Oktober 2022

NAMA PENYULANG		BEBAN RATA-RATA TERTINGGI		BEBAN RATA-RATA	
		Amp	MW	Amp	MW
GI. KAMBANG					
F.Padang Panjang / Kayu Bawang		387	13.3	70	2.4
Spare		0	0.0	0	0.0
Spare		0	0.0	0	0.0
Spare		0	0.0	0	0.0
Spare		0	0.0	0	0.0
TD#1:60MVA	A	482	16.6	262	9.0
	KV	20.8		20.8	
TD#2:30MVA	A	603	21.2	395	13.7
	KV	21.2		21.0	
JUMLAH	A TOTAL	819	28.5	640	22.1
	COS \emptyset	0.96		0.95	

4.3. Pengolahan Data

4.3.1 Drop Tegangan

1. Perhitungan Drop Tegangan Drop tegangan feeder padang panjang/kayu bawang penghantar AAAC/S $3 \times 70 \text{ mm}^2$

Pada penyaluran energi listrik ke PLN feeder padang panjang/kayu bawang menggunakan penghantar AAAC/S $3 \times 70 \text{ mm}^2$ sepanjang 70,19 kms, berdasarkan katalog SPLN 64:1985 impedansi $0,4608 + j 0,3572 \Omega/\text{km}$ sehingga dapat diperoleh drop tegangan dengan menggunakan persamaan (2.12) sebagai berikut :

$$Vd = \sqrt{3} \times I \times \ell \times (R \cos \emptyset + jx \sin \emptyset)$$

$$Vd = 1,73 \times 70 \text{ A} \times 70,19 \text{ kms} \times (0,4608 \Omega \times 0,96 + j0,3572 \Omega \times 0,28)$$

$$Vd = 8.500,009 \text{ V} (0,442 \Omega + j 0,100016 \Omega)$$

$$Vd = 3.757,003 \text{ V} + j 850,136 \Omega$$

$$Vd = 3.851,986 \angle 12^\circ \text{ V}$$

$$|Vd| = \sqrt{3.757,003^2 + 850,136^2}$$

$$Vd = 3.851,986$$

$$Vd\% = \frac{V_d}{V_k} \times 100\%$$

$$Vd\% = \frac{3.851,986}{20.000} \times 100\%$$

$$Vd\% = 19,2 \%$$

2. Drop tegangan feeder padang panjang/kayu bawang penghantar AAAC/S

$$3 \times 150 \text{ mm}^2$$

Pada penyaluran energi listrik ke PLN feeder padang panjang/kayu bawang menggunakan penghantar AAAC/S $3 \times 150 \text{ mm}^2$ sepanjang 9,43 kms, berdasarkan katalog SPLN 64:1985 impedansi $0,2162 + j 0,3305 \ \Omega/\text{km}$ dan $\cos \phi = 0,96$ sehingga dapat diperoleh drop tegangan sebagai berikut :

$$Vd = \sqrt{3} \times I \times \ell \times (R \cos \phi + jx \sin \phi)$$

$$Vd = 1,73 \times 70 \text{ A} \times 9,43 \text{ kms} \times (0,2162 \times 0,96 \ \Omega + j0,3305 \ \Omega \times 0,28)$$

$$Vd = 1.141,973 \text{ V} (0,207 \ \Omega + j 0,092 \ \Omega)$$

$$Vd = 236,388 \text{ V} + j 105,061 \ \Omega$$

$$Vd = 258,687 \angle 23^\circ \text{ V}$$

$$|Vd| = \sqrt{236,338^2 + 105,061^2}$$

$$Vd = 258,637 \text{ V}$$

$$Vd\% = \frac{V_d}{V_k} \times 100\%$$

$$Vd\% = \frac{258,637}{20.000} \times 100\%$$

$$Vd\% = 1,2 \%$$

3. Drop tegangan feeder padang panjang/kayu bawang SKTM $3 \times 150 \text{ mm}^2$

Pada penyaluran energi listrik ke PLN feeder padang panjang/kayu bawang menggunakan SKTM $3 \times 150 \text{ mm}^2$ sepanjang 0,50 kms, berdasarkan katalog SPLN 64:1985 impedansi $0,206 + j0,104 \ \Omega/\text{km}$ dan $\cos \phi = 0,96$. Sehingga dapat diperoleh drop tegangan sebagai berikut :

$$Vd = \sqrt{3} \times I \times \ell \times (R \cos \phi + jx \sin \phi)$$

$$Vd = 1,73 \times 70 \text{ A} \times 0,50 \text{ kms} \times (0,206 \ \Omega \times 0,96 + j0,104 \ \Omega \times 0,28)$$

$$Vd = 60,55 \text{ V} (0,197 \ \Omega + j 0,029 \ \Omega)$$

$$Vd = 11,928 \text{ V} + j 1,75 \ \Omega$$

$$Vd = 12,055 \angle 8^\circ \text{ V}$$

$$|Vd| = \sqrt{11,928^2 + 1,75^2}$$

$$Vd = 12,055 \text{ V}$$

$$Vd\% = \frac{V_d}{V_k} \times 100\%$$

$$Vd\% = \frac{12,055}{20.000} \times 100\%$$

$$Vd\% = 0,06 \%$$

4. Drop tegangan feeder padang panjang/kayu bawang SKTM $3 \times 240 \text{ mm}^2$

Pada penyaluran energi listrik ke PLN feeder padang panjang/kayu bawang menggunakan SKTM $3 \times 240 \text{ mm}^2$ sepanjang 0,05 kms, berdasarkan katalog didapatkan data resistansi (R) dan induktansi (L) berdasarkan SPLN 64:1985 impedansi $0,125 + j0,097 \Omega/\text{km}$ dan $\cos \phi = 0,96$. Sehingga dapat diperoleh drop tegangan sebagai berikut :

$$Vd = \sqrt{3} \times I \times \ell \times (R \cos \phi + jx \sin \phi)$$

$$Vd = 1,73 \times 70 \text{ A} \times 0,05 \text{ kms} \times (0,125 \Omega \times 0,96 + j0,097 \Omega \times 0,28)$$

$$Vd = 6,055 \text{ V} (0,12 \Omega + j 0,026 \Omega)$$

$$Vd = 0,76 \text{ V} + j 0,157$$

$$Vd = 0,776 \angle 11^\circ \text{ V}$$

$$|Vd| = \sqrt{0,76^2 + 0,157^2}$$

$$Vd = 0,776 \text{ V}$$

$$Vd\% = \frac{V_d}{V_k} \times 100\%$$

$$Vd\% = \frac{0,776}{20.000} \times 100\%$$

$$Vd\% = 0,003 \%$$

4.3.2 Rugi-rugi daya

1. Rugi-rugi daya feeder padang panjang/kayu bawang penghantar AAAC/S

$$3 \times 70 \text{ mm}^2$$

Perhitungan rugi-rugi feeder padang panjang/kayu bawang dengan beban rata-rata 70 A. Didapatkan data menggunakan penghantar AAAC/S $3 \times 70 \text{ mm}^2$

sepanjang 70,19 kms dengan resistansi $0,460 \Omega/km$ dan $\cos \phi = 0,96$.
sehingga diperoleh rugi-rugi daya dengan menggunakan persamaan (2.16) :

$$P_{losses} = 3 \times I^2 \times R \times \ell$$

$$P_{losses} = 3 \times 70^2 A \times 0,460 \Omega \times 70,19 \text{ kms}$$

$$P_{losses} = 476.624,78 \text{ Watt}$$

2. Drop tegangan feeder padang panjang/kayu bawang penghantar AAAC/S
 $3 \times 150 \text{ mm}^2$

Perhitungan rugi-rugi feeder padang panjang/kayu bawang dengan beban rata-rata 70 A. Didapatkan data menggunakan penghantar AAAC/S $3 \times 150 \text{ mm}^2$ sepanjang 9,43 kms dengan resistansi $0,2162 \Omega/km$ sehingga diperoleh rugi-rugi daya :

$$P_{losses} = 3 \times I^2 \times R \times \ell$$

$$P_{losses} = 3 \times 70^2 A \times 0,2162 \Omega \times 9,43 \text{ kms}$$

$$P_{losses} = 29.969,860 \text{ Watt}$$

3. Drop tegangan feeder padang panjang/kayu bawang SKTM $3 \times 150 \text{ mm}^2$

Perhitungan rugi-rugi feeder padang panjang/kayu bawang dengan beban rata-rata 70 A. Didapatkan data menggunakan SKTM $3 \times 150 \text{ mm}^2$ sepanjang 0,50 kms dengan resistansi $0,206 \Omega/km$ sehingga diperoleh rugi-rugi daya :

$$P_{losses} = 3 \times I^2 \times R \times \ell$$

$$P_{losses} = 3 \times 70^2 A \times 0,206 \Omega \times 0,50 \text{ kms}$$

$$P_{losses} = 1.514,1 \text{ Watt}$$

4. Drop tegangan feeder padang panjang/kayu bawang SKTM $3 \times 240 \text{ mm}^2$

Perhitungan rugi-rugi feeder padang panjang/kayu bawang dengan beban rata-rata 70 A. Didapatkan data menggunakan SKTM $3 \times 240 \text{ mm}^2$ sepanjang 0,05 kms dengan resistansi $0,125 \Omega/km$ sehingga diperoleh rugi-rugi daya :

$$P_{losses} = 3 \times I^2 \times R \times \ell$$

$$P_{losses} = 3 \times 70^2 A \times 0,125 \Omega \times 0,05 \text{ kms}$$

$$P_{losses} = 91,875 \text{ Watt}$$

4.3.3. Kapasitor Bank

Dengan terjadinya gangguan drop tegangan dan rugi – rugi daya maka di lakukan perbaikan faktor daya dengan pemasangan kapasitor pada penyulang.

Dengan Q_L nilai tegangan kirim ($V_k = 20.000 \text{ V}$), Arus rata – rata ($I = 70 \text{ A}$) dan $\sin \phi_L = 0.28$. Untuk Q_B nilai tegangan kirim ($V_k = 20.000 \text{ V}$), Arus rata – rata ($I = 70 \text{ A}$) dan $\sin \phi_B = 0,017$. Sebelum dilakukannya pemasangan kapasitor di awali dengan perhitungan kapasitas daya dan penentuan nilai kapasitas kapasitor yang di butuhkan dengan menggunakan persamaan (2.30) sebagai berikut :

$$Q_C = Q_L - Q_B$$

$$Q_L = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi_L$$

$$Q_L = 1,73 \times 20.000 \text{ V} \times 70 \text{ A} \times 0,28$$

$$Q_L = 678.160 \text{ Kvar}$$

$$Q_B = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi_B$$

$$Q_B = 1,73 \times 20.000 \text{ V} \times 70 \text{ A} \times 0,017$$

$$Q_B = 41.160 \text{ Kvar}$$

$$Q_C = Q_L - Q_B$$

$$Q_C = 678.160 \text{ Kvar} - 41.160 \text{ Kvar}$$

$$Q_C = 637.000 \text{ Kvar}$$

Dari hasil perhitungan di atas terdapat nilai kapasitor yang akan di pasang pada jaringan distribusi 20 kV di Feeder Kayu Bawang dengan nilai 637.000 Kvar. Kemudian untuk penempatan kapasitor bank dilakukan perhitungan penentuan jarak pemasangan kapasitor diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.8) sebagai berikut :

$$L = \frac{V_d(5\%)}{\sqrt{3} \times I \times (R \cos \phi + Jx \sin \phi)}$$

$$L = \frac{1000 \text{ V}}{1,73 \times 70 \text{ A}(0,460 \Omega \times 0,96 + J0,357 \Omega \times 0,28)}$$

$$L = \frac{1000 \text{ V}}{121,1 \text{ A} (0,441 + J0,099) \Omega}$$

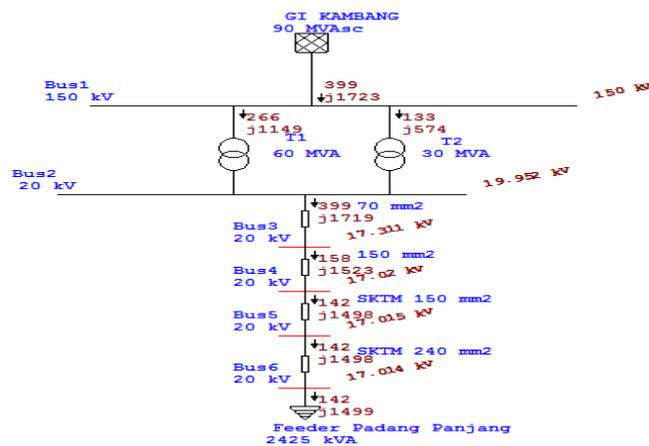
$$L = \frac{1000 \text{ V}}{53,405 \Omega + J 11,988 \Omega}$$

$$L = \frac{1000 V}{54,733} < 12^\circ V$$

$$L = 18,733 \text{ Kms}$$

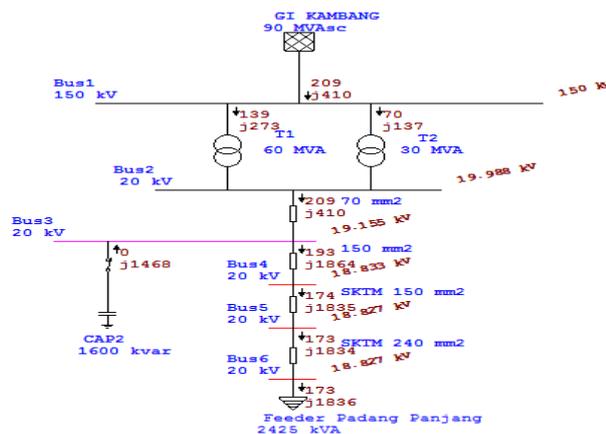
Dari hasil perhitungan diatas penempatan kapasitor bank pada jaringan distribusi 20 kV Feeder Kayu Bawang di dapatkan pada penyulang dengan jarak 18,733 Kms. Dengan $V_d = 1.000 V$ yaitu 5% dari drop tegangan SPLN No.72 Tahun 1987. Arus rata – rata $I = 70 A$. Kemudian impedansi kawat penghantar menurut SPLN No.64 Tahun 1995 dengan urutan positif dari kabel AAAC/S $3 \times 70 \text{ mm}^2 = 0,460 + j 0,357 \Omega/\text{km}$.

4.4. Simulasi Drop Tegangan dan Rugi-rugi daya Menggunakan Aplikasi Etap 12.6.0



Gambar 4.2 Hasil simulasi Drop Tegangan dan Losses

4.5. Simulasi Penambahan Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Drop Tegangan dan Rugi-rugi daya Menggunakan Aplikasi Etap 12.6.0



Gambar 4.2 Hasil Drop Tegangan dan Losses Setelah Pemasangan Kapasitor.

4.6. Hasil dan Analisa

Perhitungan jatuh tegangan dilakukan dengan menggunakan program ETAP 12.6 serta dengan perhitungan manual. Analisa didapatkan dengan perhitungan nilai beban, dan panjang penghantar yang kemudian dihitung berdasarkan analisa program maupun manual dengan nilai beban yang berbeda dari tiap kabel pada feeder kayu bawang/padang panjang dengan panjang penghantar yang sudah diketahui, hasil yang sudah dihitung kemudian akan dibandingkan dengan nilai drop tegangannya dan losses.

Untuk hasil perhitungan drop tegangan dengan menggunakan ETAP 12.6 dapat dilihat pada tabel 4.3 :

Tabel 4.3 Hasil perhitungan drop tegangan dan rugi – rugi daya pada ETAP 12.6

No	CKT/Branch ID	From To Bus Flow		To From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		% Vd Drop in Vmag
		MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	
1.	TD 1	0.266	1.149	-0.266	-1.146	0.1	2.9	100.0	98.9	0.24
2.	TD 2	0.133	0.574	-0.133	-0.573	0.0	1.4	100.0	99.8	0.24
3.	70 mm ²	0.399	1.719	-0.158	-1.523	241.0	196.0	99.8	86.6	13.20
4.	150 mm ²	0.158	1.523	-0.142	-1.498	15.2	24.4	86.6	85.1	1.46
5.	SKTM 150 mm ²	0.142	1.498	-0.142	-1.498	0.8	0.4	85.1	85.1	0.03
6.	SKTM 240 mm ²	0.142	1.498	-0.142	-1.499	0.0	-1.3	85.1	85.1	0.00

Tabel 4.4 Hasil perhitungan drop tegangan

No	Kabel	Tegangan Kirim (kV)	Tegangan Terima (kV)	Vd	Vd%
1	70 mm ²	20	16,149	3.851,986	19,2%
2	150 mm ²	20	15,890	258,683	1,2%
3	SKTM 150 mm ²	20	15,878	12,055	0,06%
4	SKTM 240 mm ²	20	15,877	0,776	0,003%

Dari tabel diatas dan hasil perhitungan yang telah dilakukan menunjukkan penurunan tegangan pada feeder setelah dilakukan perhitungan, jatuh tegangan pada saluran distribusi disebabkan karena panjangnya penghantar serta nilai impedansi, dimana nilai tersebut dipengaruhi oleh nilai resistansi dan nilai

reaktansi saluran, semakin besar nilai reaktansi dan resistansi maka drop tegangan akan semakin besar. Dari perhitungan diatas diketahui drop tegangan pada feeder Padang Panjang / Kayu Bawang tegangan terimanya 15,877 kV dengan drop tegangan 4,123 kV dan presentase drop tegangan nya 20,4%. Dari hasil tersebut sudah melebihi standar dari PLN yang telah ditentukan yaitu 5% dari tegangan nominalnya. Dengan terjadinya drop tegangan yang sudah melebihi batas maximum maka dilakukan pemasangan kapasitor bank pada feeder padang panjang/kayu bawang.

Tabel 4.5 Hasil perhitungan rugi – rugi daya

No	Kayu Bawang/Padang Panjang (KABEL)	Panjang Saluran (kms)	R	I	Phasa	Plosses (W)
1	70 mm ²	70,19	0,460	70	3	476.624,78
2	150 mm ²	9,43	0,216	70	3	29.969,860
3	SKTM 150 mm ²	0,50	0,206	70	3	1.514,1
4	SKTM 240 mm ²	0,05	0,125	70	3	91,875

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa rugi – rugi daya disebabkan karena adanya daya yang hilang, semakin panjang saluran yang ada, maka nilai tahanan dan reaktansi jaringan semakin besar, sehingga rugi-rugi bertambah besar.

Tabel 4.6 Kebutuhan kapasitas kapasitor pada penyulang pada ETAP 12.6

No	Feeder	kVAr	kV	I	Total Bank	Rated kVAr
1	Kayu Bawang	1.367,89	20	42,71	4	400.000

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa kebutuhan kapasitas kapasitor yang akan di pasang pada penyulang feeder Kayu Bawang dengan kapasitas kapasitor sebesar 1.367,89 kVAr dengan total kapasitor 4 unit, dan masing – masing bernilai 400 kVAr, tegangan kirim 20 kV dan arus I = 42,71 A.

Tabel 4.7 Hasil drop tegangan dan rugi – rugi daya dengan penambahan kapasitor bank pada ETAP 12.6

No	CKT/Branch ID	From To Bus Flow		To From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		% Vd Drop in Vmag
		MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	
1.	TD 1	0.224	0.175	-0.224	-0.175	0.0	0.2	100.0	100.0	0.04
2.	TD 2	0.112	0.087	-0.112	-0.087	0.0	0.0	100.0	100.0	0.04
3.	70 mm ²	0.336	0.262	-0.322	-0.251	14.0	11.4	95.7	95.7	4.23
4.	150 mm ²	0.193	1.863	-0.174	-1.833	18.6	29.8	94.1	94.1	1.61
5.	SKTM 150 mm ²	0.174	1.833	-0.173	-1.832	0.9	0.5	94.1	94.1	0.03
6.	SKTM 240 mm ²	0.173	1.832	-0.173	-1.834	0.1	-1.6	94.1	94.1	0.00

Tabel 4.8 Perbandingan drop tegangan dan rugi – rugi daya sebelum dan sesudah perbaikan.

No.	Kabel pada feeder kayu bawang	Vd tanpa kapasitor (%)	Losses sebelum (Kw)	Vd kapasitor bank(%)	Losses setelah (Kw)
1	70 mm ²	13,20	241.0	4,23	14.0
2	150 mm ²	1,46	15.2	1,61	18.6
3	SKTM 150 mm ²	0,03	0.8	0,03	0.9
4	SKTM 240 mm ²	0,00	0.00	0,00	0.1
TOTAL		15,17	257,1	5,95	33,6

Berdasarkan dari tabel di atas hasil dari simulasi pada ETAP bisa dilihat pemasangan kapasitor bank ini dapat memperbaiki drop tegangan dan rugi – rugi daya yang terjadi pada sistem kelistrikan. Yang mana standard PLN yang telah di tetapkan yaitu untuk kenaikan tegangan sebesar +5% dan untuk jatuhnya tegangan sebesar -10%. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan terdapat pada feeder kayu bawang melebihi batas jatuhnya tegangan dari batas normal dengan nilai 15,17% . Setelah dilakukannya perbaikan drop tegangan dan rugi – rugi daya dengan pemasangan kapasitor bank pada penyulang feeder kayu bawang menjadi 5,95%. Untuk hasil simulasi yang dilakukan pada program ETAP yang terlampir dapat dilihat rugi – rugi daya yang terjadi. Pada simulasi ini terdapat rugi – rugi daya, yaitu rugi – rugi daya sebelum pemasangan kapasitor bank dan rugi – rugi

daya setelah pemasangan kapasitor bank. Sebelum dilakukan pemasangan kapasitor bank rugi – rugi daya pada feeder kayu bawang sebesar 257,1 Kw. Setelah pemasangan kapasitor bank rugi – rugi daya menjadi 33.6 Kw. Dari data di atas dapat dilihat bahwa drop tegangan dan rugi – daya jaringan distribusi 20 kV pada feeder kayu bawang dapat di atasi dengan penambahan atau pemasangan kapasitor bank pada penyulang di feeder kayu bawang.