

Analisis Sistem Distribusi 20 kV Untuk Memperbaiki Kinerja Dan Keandalan Sistem Distribusi Menggunakan *Electrical Transient Analysis* Program

Abrar Tanjung

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Lancang Kuning
E-mail : abrartanjung_1970@yahoo.co.id

Abstrak

Daya listrik merupakan kebutuhan pokok manusia dalam kehidupan. Di Indonesia listrik sebagian dilayani oleh Perusahaan Milik Negara (PLN) dan lainnya menggunakan mesin pembangkit dengan generator listrik sendiri sebagai sumber energi, seperti : semakin banyaknya industri-industri serta perusahaan-perusahaan yang berkembang pesat menuntut PLN dalam penyediaan tenaga listrik harus handal, murah serta ekonomis. Dengan semakin banyaknya kebutuhan listrik tersebut mengakibatkan pengembangan kapasitas pembangkit dan saluran transmisi/distribusi. Jarak antara pembangkit dengan konsumen sangat jauh maka penyaluran daya listrik dilakukan melalui suatu saluran transmisi yang panjang umumnya berupa saluran udara terbuka, menyebabkan gangguan pada sistem kelistrikan tersebut berpeluang semakin besar terhadap kemungkinan terjadinya gangguan. Gangguan-gangguan tersebut jika dibiarkan akan menyebabkan terjadinya arus gangguan yang cukup besar dan bisa mengganggu pendistribusian daya listrik ke konsumen.

Hasil analisa dan pembahasan dalam penelitian ini untuk memperbaiki kinerja dan keandalan sistem distribusi dengan melakukan optimasi penentuan pemasangan optimum kapasitor PT. PLN (Persero) Cabang Dumai Gardu Hubung Ujung Tanjung Feeder Teluk Pulau diperoleh sebesar 3 x 600 kVAr menggunakan program ETAP versi 4.0.0 sehingga diperoleh tegangan terima dapat diperbaiki sebesar 17,6 kV dan penghematan rugi-rugi daya sebesar 553 kW dan 817 kVAr. Tingkat keandalan sebesar 0,7638 (nilai indeks 76 %)

Kata Kunci : Sistem Distribusi, Kapasitor, Rugi daya, Tegangan jatuh

Abstract

Electric power is the basic human needs in life. In Indonesia, electricity partly served by the State-Owned Company (PLN) and the other using an electric generator engine with its own power as an energy source, such as: the increasing number of industries and companies in the rapidly growing demand PLN electricity supply must be reliable, inexpensive and economical. With the increasing demand for electricity resulted in the development of generation capacity and transmission line / distribution.

The distance between plants with consumers so far the distribution of electrical power through a long transmission line is generally in the form of an open airway, causing disturbances on the electrical system the greater the chance of interference. Such defects if left unchecked will lead to substantial fault current and can disrupt electric power distribution to the consumer.

Result and analysis In research to improve the performance and reliability of distribution systems by optimizing the determination of optimum mounting location in PT. PLN (Persero) Cabang Dumai Gardu Hubung Ujung Tanjung for the capacitor 3 x 600 kVAr using program ETAP 4.0.0 version accepted in order to obtain a voltage of 17.6 kV irreparable loss and saving power of 553 kW and 817 kVAr. Reliability level of 0.7638 (index value 76%)

Keywords: Distribution systems, capacitors, power loss, voltage drop

1. Pendahuluan

Perkiraan kebutuhan tenaga listrik dihitung berdasarkan besarnya aktivitas dan intensitas penggunaan tenaga listrik. Aktivitas penggunaan tenaga listrik berkaitan dengan tingkat perekonomian dan jumlah penduduk. Dalam penyaluran tenaga listrik dari sumber tenaga listrik ke konsumen yang letaknya berjauhan selalu mengalami terjadinya kerugian berupa rugi-rugi daya dan rugi tegangan. Besarnya rugi-rugi daya dan rugi tegangan pada saluran distribusi tergantung pada jenis dan panjang saluran penghantar, tipe jaringan distribusi, kapasitas trafo, tipe beban, faktor daya, dan besarnya jumlah daya terpasang serta banyaknya pemakaian beban-beban yang bersifat induktif yang menyebabkan meningkatnya kebutuhan daya reaktif.

Tujuan dari pembahasan penelitian ini adalah menghitung jatuh tegangan, rugi-rugi daya, impedansi saluran, dan menentukan letak kapasitor optimum serta menghitung tingkat keandalan sistem dalam SAIDI dan SAIFI pada Gardu Hubung Ujung Tanjung PT. PLN (Persero) Cabang Dumai sistem 20 kV.

Pemasangan kapasitor dapat mengurangi rugi tegangan dan rugi-rugi daya dengan menentukan jumlah pemakaian dan menentukan lokasi yang optimum pada saluran distribusi sehingga nantinya akan diperoleh profil tegangan sesuai dengan standar yang diijinkan [1] [2].

Pemasangan kapasitor dapat memperbaiki kinerja sistem distribusi dalam meminimalkan rugi daya dan jatuh tegangan, namun hal yang terpenting dari penggunaan kapasitor tersebut adalah dalam menentukan jumlah pemakaian dan menentukan lokasi yang optimum pada saluran distribusi sehingga nantinya akan diperoleh profil tegangan sesuai dengan standar yang diijinkan [1] [3].

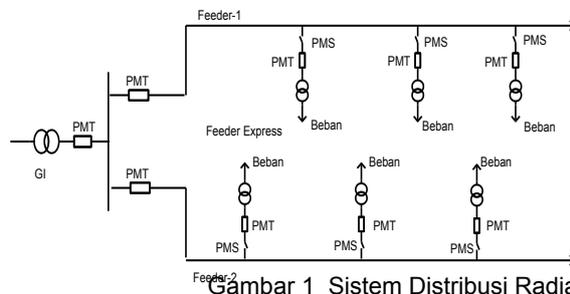
2. Metode Penelitian

Sistem distribusi memegang peranan yang cukup penting, karena sistem distribusi ini akan melayani beban-beban terpasang pada tingkat tegangan yang diperlukan. Dalam sistem distribusi terdapat beberapa bentuk jaring yang umum digunakan dalam menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik [4] :

- a) Sistem Jaringan Distribusi *Radial*.
- b) Sistem Jaringan Distribusi Rangkaian Tertutup (*loop*).
- c) Sistem Jaringan Distribusi *Spindel*.

a. Sistem distribusi radial

Sistem distribusi *radial* adalah karena bentuk rangkaian sistem yang sangat sederhana sehingga secara ekonomis biaya investasi yang dibutuhkan lebih murah di bandingkan dengan sistem distribusi yang lainnya. Kemudian kelemahannya antara lain ditinjau dari segi teknis keandalannya lebih rendah karena pada sistem *radial* ini apabila terjadi gangguan pada saluran maka semua konsumen yang tersambung ke sistem ini akan terputus, atau daerah pemadaman lebih luas dibandingkan dengan sistem *loop* maupun sistem *spindel* [4].



Gambar 1 Sistem Distribusi Radial

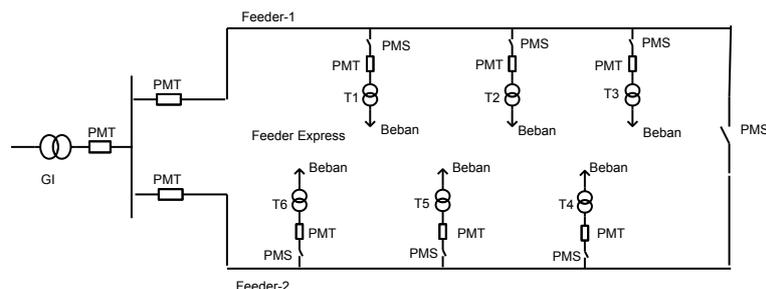
Keterangan:

GI = Gardu Induk.
 PMS = Pemisah.

GD = Gardu Distribusi
 PMT = Pemutus.

b. Sistem distribusi loop

Sistem distribusi jenis lup dengan ciri pokoknya adalah saluran utama (penyulang) dimulai dari gardu induk dan berakhir kembali ke gardu induk yang sama. Bentuk yang sederhana dapat diberikan pada Gambar 2 Jaringan distribusi ini memiliki tingkat keandalan yang lebih baik dibandingkan dengan sistem radial. Pada bagian tengah dari rangkaian dipasang suatu pemutus saluran (PMS) yang gunanya untuk mengambil alih fungsi penyaluran oleh salah satu sisi penyulang apabila salah satu sisi lainnya mengalami gangguan [4].



Gambar 2 Sistem Distribusi Loop

Keterangan:

GI = Gardu Induk.

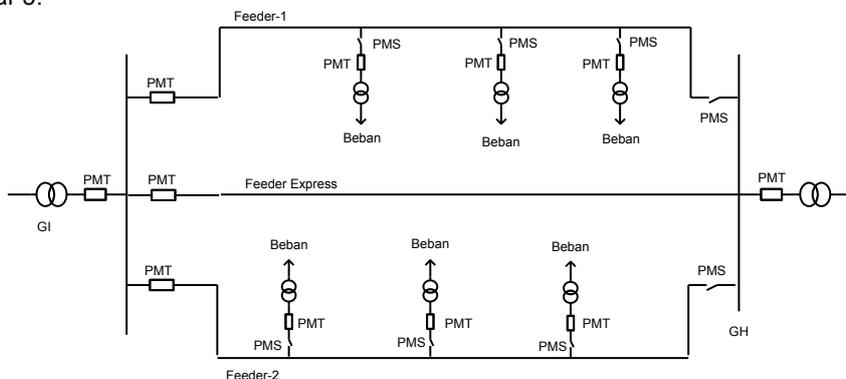
GD = Gardu Distribusi

PMS = Pemisah.
 T = Trafo

PMT = Pemutus.

c. Sistem distribusi *spindel*.

Sistem jaringan jenis ini merupakan perkembangan dari jaringan jenis lup. Dimana perluasan ini berupa penambahan saluran primer (penyulang utama) yang disebut saluran ekspres (*Express Feeder*) kesemuanya bertemu pada satu titik, dimana titik pertemuan tersebut merupakan sebuah gardu hubung (GH). Dari sistem ini, diharapkan perolehan tingkat kelangsungan pelayanan daya akan lebih baik jika dibandingkan dengan sistem radial ataupun lup. Perbedaan sistem jaringan lup dengan sistem jaringan *spindel* yaitu pada sistem jaringan lup, besar ukuran penampang saluran penghantar harus mampu untuk memikul seluruh beban, sedangkan pada sistem jaringan *spindel*, besar penampang penghantar berdasarkan atas jumlah beban yang paling besar pada saluran utama. Sistem distribusi *spindel* diberikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Sistem Distribusi *Spindel*

Keterangan:

GI = Gardu Induk.
 GD = Gardu Distribusi
 PMT = Pemutus.

2.1 Jatuh Tegangan (*Voltage Drop*)

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 [5].

Penurunan tegangan terdiri dari dua komponen :

- $I \cdot R_s$ yaitu rugi-rugi tegangan akibat tahanan saluran
- $I \cdot X_1$ yaitu rugi-rugi tegangan akibat reaktansi induktif saluran

Besarnya rugi tegangan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\Delta V = I \cdot R \cdot \cos \varphi + I \cdot X \cdot \sin \varphi$$

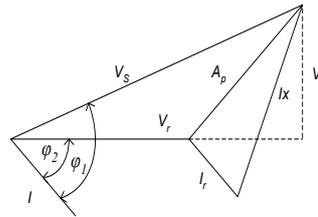
$$\Delta V = I \times Z$$

(1)

keterangan :

ΔV = Jatuh tegangan (Volt)
 I = Arus yang mengalir (Amper)
 R = Tahanan saluran (Ohm)
 X = Reaktansi (Ohm)
 φ = Sudut dari faktor daya beban
 $Z = R + jX$ = impedansi saluran

Pada saluran arus bolak-balik besarnya jatuh tegangan tergantung dari impedansi saluran serta beban dan faktor daya. Untuk jarak yang dekat jatuh tegangan tidak begitu berarti. Perhitungan jatuh tegangan yang diperlukan tidak hanya untuk peralatan sistem saja namun juga untuk dapat menjamin tegangan terpasang yang dapat dipertahankan dalam batas-batas yang layak. Oleh karena itu perlu diketahui hubungan fasor antar tegangan dan arus serta reaktansi dan resistansi pada perhitungan yang akurat. Hubungan dengan diagram fasor antara tegangan pada sisi pengirim dari sebuah rangkaian dan jatuh tegangan pada ujung penerima ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Fasor hubungan tegangan dengan R dan X

Selanjutnya rumus jatuh tegangan dan rumus tegangan pada sisi pengiriman (V_s) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_s &= V_r + I R \times \cos\phi + I X \sin\phi \\ &= V_r + I \times Z \end{aligned} \quad (2)$$

keterangan :

- V_s = Tegangan kirim (Volt)
- V_r = Tegangan terima (Volt)
- I = Arus yang mengalir (Amper)
- R = Tahanan saluran (Ohm)
- X = Reaktansi saluran (Ohm)
- ϕ = Sudut dari faktor daya beban

2.2 Rugi Daya (Power Losses)

Dalam menentukan distribusi beban secara ekonomis diantara stasiun-stasiun dijumpai keperluan untuk mempertimbangkan kehilangan daya dalam saluran-saluran distribusi. Hilang daya (rugi daya) utama pada saluran adalah besarnya daya yang hilang pada saluran, yang besarnya sama dengan daya yang disalurkan dari sumber daya yang dikurangi besarnya daya yang diterima pada perlengkapan hubungan bagi utama. Rugi daya dipengaruhi oleh tahanan dan besarnya arus yang mengalir pada saluran, hingga timbul rugi energi berupa panas yang hilang pada saluran [12].

Besarnya rugi daya satu fasa dinyatakan dengan persamaan :

$$\Delta P = I^2 \times R \quad (\text{Watt}) \quad (3)$$

keterangan :

- ΔP = Rugi daya pada saluran (Watt)
- I = Arus beban pada saluran (Amper)
- R = Tahanan Murni (Ohm)

Untuk rugi-rugi daya pada saluran tiga fasa dinyatakan oleh persamaan :

$$\Delta P = 3 \times I^2 \times R \quad (\text{Watt}) \quad (4)$$

Dengan mengabaikan arus kapasitif pada saluran, maka arus di sepanjang kawat dapat dianggap sama dan besarnya adalah sama dengan arus pada ujung penerima :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi} \quad (\text{Amper}) \quad (5)$$

Besarnya daya pada saluran tiga fasa adalah :

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \quad (\text{Watt}) \quad (6)$$

keterangan :

- P = daya beban pada ujung penerima saluran (Watt)
- V = tegangan fasa (Volt)
- $\cos\phi$ = faktor daya beban

2.3 Impedansi Saluran

Impedansi (Z) terdiri dari Resistansi (R) dan Reaktansi (X). Impedansi merupakan parameter utama pada suatu saluran transmisi atau distribusi. Kombinasi antara resistansi dan reaktansi disebut dengan impedansi yang dinyatakan dalam satuan *Ohm* dengan lambang Ω . Impedansi pada saluran transmisi atau distribusi perlu diketahui untuk melakukan analisa sistem, baik untuk analisa aliran daya, hubung singkat dan proteksi, kestabilan sistem maupun kontrol sistem. Nilai resistansi dan reaktansi (induktif dan kapasitif) ditentukan oleh jarak antar saluran dan jumlah serat kawat penghantarnya. Biasanya untuk sistem bertegangan rendah dan menengah, reaktansi kapasitif dapat diabaikan, karena nilainya relatif kecil dibandingkan dengan reaktansi induktif [9].

$$Z = R + jX \quad (7)$$

keterangan :

- Z = Impedansi saluran (Ohm)

R = Tahanan saluran (Ohm)
 jX = Reaktansi (Ohm)

a. Resistansi

Tiap konduktor memberi perlawanan atau tahanan terhadap mengalirnya arus listrik dan hal ini dinamakan resistansi. Resistansi atau tahanan dari suatu konduktor (kawat penghantar) adalah penyebab terpenting dari rugi daya (*power losses*) pada saluran transmisi, resistansi yang dimaksud adalah resistansi efektif yaitu perbandingan rugi daya pada penghantar dengan arus pangkat dua. Resistansi efektif sama dengan resistansi arus searah (dc), R_{dc} ini tergantung kepada jenis bahan kawatnya [9].

$$R = \rho \frac{l}{A} \tag{8}$$

keterangan :

R = Resistansi (Ohm)
 ρ = Resistivitas (tahanan jenis penghantar) (Ohm)
 l = Panjang kawat (m)
 A = Luas penampang kawat (mm²)

Dalam sistem satuan untuk resistivitas ρ diberikan dalam Ohm meter, panjang dalam meter dan luas penampang dalam meter kuadrat [12].

b. Reaktansi Penghantar (Reaktansi Induktif)

Konduktor yang dialiri oleh arus listrik dikelilingi oleh garis-garis magnetik yang berbentuk lingkaran-lingkaran konsentrik. Arus bolak-balik medan yang berada disekeliling konduktor tidaklah konstan melainkan akan selalu berubah-ubah dan akan mengait konduktor itu sendiri maupun dengan konduktor-konduktor lainnya yang terletak berdekatan. Dengan adanya kaitan-kaitan fluks tersebut maka saluran akan memiliki sifat induktansi.

Reaktansi pada saluran transmisi atau distribusi terdiri dari reaktansi induktif (jX) dan reaktansi kapasitif ($-jX$). Namun pada saluran distribusi, reaktansi kapasitif sangat kecil, sehingga biasanya diabaikan [12].

Besarnya reaktansi induktif (X) diformulasikan sebagai berikut :

$$X = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \tag{9}$$

keterangan :

f = Frekuensi (Hz)
 L = Induktansi (Hendry)
 X = Reaktansi Induktif (Ohm)

2.4 Hubungan Kapasitor Terhadap Lokasi Optimum Penempatan Kapasitor

Untuk mendapatkan tegangan yang lebih baik, dipasang kapasitor dengan kapasitas tertentu dengan penempatan pada beberapa lokasi disaluran, sehingga akan diketahui lokasi penempatan kapasitor yang paling tepat. Akan tetapi dari sisi tinjauan teknis, posisi kapasitor sebaiknya ditempatkan sedekat mungkin dengan beban karena :

1. Tegangan yang dinaikkan berada dekat dengan beban sehingga memberikan unjuk kerja yang lebih baik.
2. Rugi-rugi pada penghantar akan semakin berkurang karena arus reaktif yang dibutuhkan beban tidak mengalir pada penghantar.
3. kVAr kapasitor dapat secara otomatis di kurangi bersama operasi beban karena kapasitor dipasang langsung dengan beban.

Untuk tingkat beban yang berubah pemasangan kapasitor dengan tingkat kompensasi k tertentu, maka lokasi optimum penempatan kapasitor dapat di hitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [12] :

$$X_1 = 1 - \frac{(2i-1)}{2n} \cdot k \cdot l \tag{10}$$

Keterangan :

i = letak kapasitor 1,2,3 dst
 k = faktor kompensasi

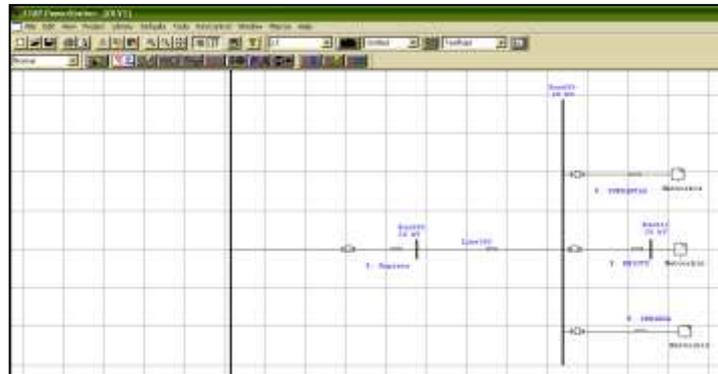
$$= \left[\frac{\text{Cap kVAr terpasang pada tiap lokasi}}{\text{kVAr total beban reaktif}} \right]$$

n = jumlah kapasitor
 l = panjang total saluran

2.5 Program ETAP (Electrical Transient Analysis Program) PowerStation 4.0.0

PowerStation adalah *software* untuk *power sistem* yang bekerja berdasarkan perencanaan (*plant/project*). Setiap *plant* harus menyediakan *modelling* peralatan dan alat - alat pendukung yang berhubungan dengan analisis yang akan dilakukan. Misal generator, data motor, dan data kabel. Sebuah *plant* terdiri dari sub-sistem kelistrikan yang membutuhkan sekumpulan komponen elektrik yang khusus dan saling berhubungan. Dalam *PowerStation*, setiap perencanaan harus menyediakan data *base* untuk keperluan itu.

ETAP *PowerStation* dapat melakukan penggambaran *single line diagram* secara grafis dan mengadakan beberapa analisis/studi yakni *Load Flow* (aliran daya), *Short Circuit* (hubung singkat), *motor starting*, *harmonics power systems*, *transient stability*, dan *protective device coordination*.



Gambar 5. Tampilan program ETAP 4.0.0

Dalam pembahasan penelitian, penulis melakukan beberapa metoda untuk mendapatkan tujuan dari pembahasan ini. Dari data-data yang diperoleh, Penulis melakukan perhitungan dan analisa aliran daya menggunakan metoda Newton-Raphson dan dibantu dengan program ETAP 4.0, untuk mengetahui profil tegangan dan rugi daya pada kondisi eksisting. Sedangkan untuk menghitung tingkat keandalan sistem dalam SAIFI dan SAIDI digunakan metoda Distribusi Poisson. Cara dan langkah-langkah yang dilakukan untuk mendapatkan hasil pembahasan, maka dilakukan metoda dan perhitungan dibawah ini:

1. Menghitung impedansi saluran
2. Menghitung drop tegangan
3. Menghitung rugi-rugi daya
4. Menghitung nilai kapasitor dan menentukan penempatan kapasitor
5. Menghitung tegangan dan rugi-rugi daya setelah pemasangan kapasitor
6. Menghitung tingkat keandalan sistem dalam SAIFI dan SAIDI

2.6 Analisa Keandalan Sistem Distribusi Daya Listrik [4]

Untuk menghitung tingkat keandalan suatu sistem jaringan distribusi setelah melakukan langkah – langkah di atas barulah kita masukkan data total rata – rata jumlah gangguan selama setahun dan data total lamanya pemadaman kedalam suatu rumus untuk menghitung tingkat keandalan, perhitungan tersebut kita pakai metode distribusi poisson, alasan penulis menggunakan Distribusi Poisson tersebut antara lain :

- a. Karena metode Poisson di gunakan untuk menghitung data kejadian yang mempunyai rentang waktu tertentu.
- b. Karena metode Poisson di gunakan untuk menghitung *n* (jumlah waktu) yang besar, misal seratus atau lebih seratus.

Yang mana dalam distribusi tersebut kemungkinan ada kerusakan sebanyak *x* dalam interval waktu tertentu *t* di nyatakan dengan distribusi Poisson [4].

$$P(X=x) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^x}{x!} \quad (11)$$

Maka kemungkinan tidak terjadi kerusakan selama periode waktu 0 t di sebut fungsi keandalan R(t) yaitu :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (12)$$

Keterangan :

R(t) = fungsi keandalan
 e = eksponensial

λ = jumlah kerusakan atau gangguan (kali/jam)
 Jumlah Waktu (jam selama setahun)
 Jumlah waktu : 8760 (yaitu jumlah jam selama setahun)

3. Hasil Pembahasan dan Analisis

3.1 Perhitungan Impedansi pada Gardu Hubung Ujung Tanjung Feeder Teluk Pulau

Berdasarkan data kawat AAAC 240 mm², maka dapat dilakukan perhitungan impedansi saluran pada masing-masing feeder Gardu Hubung Ujung Tanjung Feeder Teluk Pulau sebagai berikut :

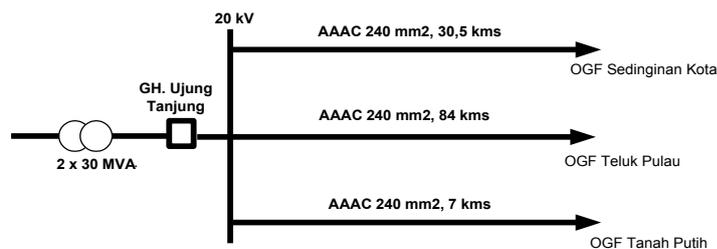
Untuk luas penampang AAAC 70 mm²

Untuk saluran 1 pada feeder Teluk Pulau

- Panjang Saluran = 84 km
- R = 0.1310 ohm
- X = 0.4017 ohm

Maka Impedansi :

$$\begin{aligned}
 Z &= R + jX \\
 &= \sqrt{R^2 + X^2} \times \text{Panjang saluran} \\
 &= \sqrt{(0.1310)^2 + (0.4017)^2} \times 84 \text{ kms} \\
 &= 0,3549 \text{ ohm}
 \end{aligned}$$



Gambar 5. Single Line Gardu Hubung Ujung Tanjung

3.2 Penentuan Lokasi Optimum Kapasitor pada PT. PLN (Persero) Cabang Dumai Gardu Hubung Ujung Tanjung Feeder Teluk Pulau.

Diketahui bahwa total daya reaktif yang mengalir pada saluran adalah 2641,6 kVAr. Faktor kompensasi kapasitor (K) digunakan 60%, maka daya reaktif yang disuplai oleh kapasitor adalah :

$$K = \frac{kVAr\ Cap}{kVAr\ Total} = 0,75$$

$$\begin{aligned}
 kVAr - Cap &= 0,75 \times kVAr\ Total \\
 &= 0,75 \times 2641,6 \text{ kVAr} \\
 &= 1981,2 \text{ kVAr}
 \end{aligned}$$

Bila satu unit kapasitor 600 kVAr, maka kapasitor yang diperlukan adalah :

$$N = \frac{1981,2}{600} = 3,302$$

Dibulatkan menjadi 3 x 600 kapasitor

Letak optimum setiap kapasitor dapat ditentukan sebagai berikut :

$$X_1 = \left[1 - \frac{(2 \times i - 1)}{2 \times n} \times K \right] \times l$$

Dengan panjang saluran pada Gardu Hubung Ujung Tanjung Feeder Teluk Pulau 84 kms, maka penempatan kapasitor adalah :

Kapasitor-1 :

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \left[1 - \frac{(2 \times 1 - 1)}{2 \times 4} \times 0,75 \right] \times 84 \text{ kms} \\
 &= \left[1 - \left(\frac{1}{8} \right) \times 0,75 \right] \times 84 \text{ kms} \\
 &= 55,13 \text{ kms}
 \end{aligned}$$

Kapasitor-2

$$X_2 = \left[1 - \frac{(2 \times 2 - 1)}{2 \times 4} \times 0,75 \right] \times 84 \text{ km}$$

$$= \left[1 - \left(\frac{3}{8} \right) \times (0,75) \right] \times 84 \text{ km}$$

Kapasitor-3 39,75 km

$$X_3 = \left[1 - \frac{(2 \times 3 - 1)}{2 \times 4} \times 0,75 \right] \times 84 \text{ km}$$

$$= \left[1 - \left(\frac{5}{8} \right) \times (0,75) \right] \times 84 \text{ km}$$

$$= 23,63 \text{ km}$$

Dengan memasukan 3 x 600 kVar kapasitor pada kondisi seimbang (eksisting) menggunakan program ETAP versi 4.0.0, maka diperoleh tegangan terima pada setiap trafo dan rugi daya pada saluran. Tegangan terendah total rugi daya pada saluran untuk kondisi sebelum dan setelah pemasangan 3 unit kapasitor dengan kapasitas kapasitor 600 kVar pada Gardu Hubung Ujung Tanjung feeder Teluk Pulau dapat dibandingkan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pembahasan Menggunakan Etap 4.0.0

Feeder	Sebelum			Sesudah Pemasangan Kapasitor 3 x 600 kVar		
	Teg. Terendah	Total Rugi Daya		Teg. Terendah	Total Rugi Daya	
	kV	kW	Kapasitor (kVar)	kV	kW	Kapasitor (kVar)
Teluk Pulau	13,6	2413	2641,6	17,6	1265	1824

Berdasarkan tabel 1 di peroleh tegangan dapat diperbaiki dari tegangan terima terendah sebesar 13,6 kV menjadi 17,6 kV dan penghematan daya aktif sebesar 553 kW dan daya reaktif sebesar 817 kVar

3.3 Analisa Perhitungan Tingkat Keandalan PT. PLN (Persero) Cabang Dumai

Keandalan suatu sistem jaringan tenaga listrik sangatlah perlu diperhatikan, karena keandalan suatu sistem sangat berpengaruh pada kontinuitas penyaluran energi listrik. Dengan menghitung tingkat keandalan suatu sistem maka kita akan mengetahui apakah sistem tersebut dalam operasinya dalam kurun waktu yang ditentukan masih layak atau perlu perbaikan.

Data diperoleh pada bulan Januari s/d Desember 2011 bahwa jumlah gangguan yang terjadi selama satu tahun (SAIFI) adalah 45 kali dengan rata-rata (λ) adalah 0,0043 kali/jam selama setahun, dengan total waktu lama pemadaman/gangguan (t) (SAIDI) adalah 52,83 jam, dan jumlah jam dalam setahun 8760 jam, dengan demikian tingkat keandalannya adalah :

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = 45/8760 = 0,0051 \text{ kali/jam}$$

$$t = \text{total lama waktu gangguan selama setahun} = 52,83 \text{ jam}$$

$$R = e^{-0,0051 \times 52,83}$$

$$= e^{-0,2694}$$

$$= 0,7638$$

Dengan menggunakan rumus untuk mencari tingkat keandalan sistem, dengan memasukkan jumlah data gangguan dan lamanya waktu pemadaman rata-rata selama satu tahun maka didapat perhitungan bahwa tingkat keandalan Gardu Hubung Ujung Tanjung Feeder Teluk Pulau adalah 0,7638

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan perhitungan, maka dapat dibuat beberapa kesimpulan untuk sistem distribusi 20 kV PT. PLN (Persero) Cabang Dumai Gardu Hubung Ujung Tanjung Feeder Teluk Pulau sebagai berikut:

1. Berdasarkan perhitungan melalui Program ETAP Versi 4.0.0 rugi daya aktif pada Gardu Hubung Ujung Tanjung Feeder Teluk Pulau sebesar 553 kW dan daya reaktif sebesar 817 kVAR dan perbaikan tegangan terima terendah sebesar 17,6 kV.
2. Penentuan pemasangan kapasitor menggunakan kapasitor sebesar 3 x 600 kVAr sehingga tegangan terima dari kondisi eksisting 13,6 kV dapat diperbaiki sebesar 17,6 kV.
3. Berdasarkan gangguan sistem distribusi pada Gardu Hubung Ujung Tanjung Feeder Teluk Pulau dengan jumlah SAIDI 45 kali gangguan dan lamanya gangguan sebesar 52,83 jam, sehingga rata-rata (λ) 0.0051 kali/jam, sehingga berdasarkan perhitungan diperoleh tingkat keandalan 0,7638 (besar indek 76 %).

Daftar Pustaka

1. Mohammad A.S Masoum, "Optimal Placement, Replacement and Sizing of Capacitor Bank in Distorted Distribution Network by Genetic Algorithms", *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 19, No. 4, Oktober 2004.
2. M.Kaplan, "Optimization of Number, Location, Size, Type and Capacitors on Radial Distribution Feeders", *IEEE Transaction on Power Apparatus and System*, Vol. 103, No. 9, September 1984.
3. Shyh-Jier huang, "An Immune Based Optimization Method to Capacitor Placement in a Radial Distribution System", *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 15, No. 2, April 2000
4. Abdul Hadi, Ir. As Pabla, *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Erlangga, Cetakan Pertama, 1994
5. Abdul Kadir, *Distribusi dan Utilasi Tenaga listrik*, Universitas Indonesia, Cetakan Pertama, 2001
6. Aris. A. Munandar, Dr, *Teknik Tenaga Listrik*, Jilid 2, Pradny Paramita, Cetakan Keenam, 1993
7. Aris A. Munandar, Prof. Dr, *Teknik Tegangan Tinggi*, Pradnya Paramita, Cetakan kedelapan, 2001.
8. M. Iqbal Hasan, MM, Ir, *Pokok-pokok Materi Statistik 2 (Statistik Inferensi)*, Bumi Aksara, Cetakan Pertama, 2002.
9. William D. Stevensen Jr, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Erlangga, Jakarta, 1984
10. Sariadi, Dkk, *Jaringan distribusi Listrik*, Angkasa Bandung, Cetakan II, 1999.
11. Hadi Saadat, *onteroll Setting of Shunt CaAnalysis*, Milwaukee School of Engineering, United of America, 1999.
12. Hutauruk, T.S, Prof. Ir. M.Sc, *Transmisi Daya Listrik*, Erlangga, 1996