

Perbaikan Jatuh Tegangan Dengan Pemasangan Automatic Voltage Regulator

Ija Darmana

Jurusan Teknik Elektro –Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta

E-mail : ija_ubh@yahoo.com

Submitted: 23-07-2015, Reviewed: 23-07-2015, Accepted: 23-07-2015

<http://dx.doi.org/10.22216/jit.2014.v8i4.20>

ABSTRAK

Pada jaringan distribusi telah dipertimbangkan kemungkinan-kemungkinan terjadinya penurunan tegangan karena beban puncak akibat penambahan beban dan pelepasan beban disisi konsumen. Dengan adanya variasi beban, maka disisi konsumen pada saat tertentu akan terjadi variasi tegangan yang besarnya berada antara tegangan minimum dan tegangan maksimum. Untuk mengatasi masalah ini, dapat dilakukan dengan pemasangan kapasitorshunt atau pemasangan Automatic Voltage Regulator (AVR). Adapun titik-titik beban tempat pemasangan kapasitorshunt adalah gardu hubung Painan sebesar 600 kVAR. Dengan pemasangan kapasitor ini profil tegangan di titik beban untuk gardu hubung Painan ke Balai Selasa mengalami kenaikan tetapi belum memenuhi sesuai dengan yang diharapkan karena masih adanya rugi-rugi tegangan gardu hubung Surantih dan Balai Selasa. Oleh karena itu dilakukan pemasangan Automatic Voltage Regulator (AVR) diletakkan pada gardu hubung Painan. Setelah pemasangan AVR didapat hasil perhitungan kenaikan tegangan pada gardu hubung Painan sebesar 20,4123 kV, Surantih sebesar 19,5916 kV dan Balai Selasa sebesar 18,6180 kV. Setelah pemasangan Automatic Voltage Regulator (AVR) dilakukan pada gardu hubung Painan telah memenuhi standard kecil dari 10% tegangan normal, artinya performansi sistem distribusi akan menjadi lebih baik dan handal
Kata kunci: Perbaikan faktor daya, AVR.

PENDAHULUAN

Regulasi Tegangan Sistem Distribusi yaitu besarnya jatuh tegangan yang terjadi dalam jaringan yang dilihat dari tegangan pada sisi penerima yang dinyatakan dalam persen. Regulasi tegangan ini dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\% \text{Regulasi} = \frac{|V_s| - |V_R|}{|V_R|} \times 100$$

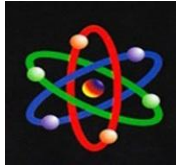
Dimana :

V_s : Tegangan pada sisi pengirim
 V_R : Tegangan Pada sisi penerima

Dalam penyediaan tenaga listrik bagi para pelanggan, tegangan yang konstan dan frekuensi yang konstan merupakan salah satu syarat utama yang harus dipenuhi, karenanya perlu dilakukan pengaturan

tegangan. Pengaturan tegangan ini akan sangat erat kaitannya dengan pengaturan daya reaktif yang terdapat dalam sistem. Berbeda dengan frekuensi, tegangan yang terdapat dalam suatu sistem tidak pernah sama karena terjadinya rugi-rugi di sepanjang saluran sehingga akan membentuk suatu profil tegangan pada sistem tenaga listrik.

Dalam suatu sistem tenaga listrik ada dua variabel yang dapat diatur secara bebas yaitu daya aktif (MW) dan daya reaktif (MVAR). Pengaturan daya aktif akan mempengaruhi frekuensi sedangkan pengaturan daya reaktif akan mempengaruhi tegangan sistem. Dilain pihak beban yang terdapat dalam sistem akan mempergunakan daya aktif dan daya



reaktif sehingga beban tidak dapat diatur karena akan berhubungan dengan banyak pelanggan yang mempergunakan tenaga listrik.

Seperti yang telah dinyatakan sebelumnya, bahwa tegangan yang terdapat dalam sistem tidak ada satupun yang sama. Biasanya tegangan yang diterima oleh pelanggan yang letaknya dekat dengan gardu induk akan mendapatkan besar tegangan yang paling tinggi dibandingkan dengan pelanggan yang letaknya jauh dari gardu induk sehingga dalam merancang suatu jaringan distribusi harus diusahakan untuk menjaga tegangan yang diterima oleh setiap pelanggan yang terhubung ke jaringan berada pada batas-batas tegangan yang diizinkan maximum 10 % dari tegangan nominal.

Untuk menjaga agar tegangan pada jaringan distribusi berada pada batas yang diizinkan maka perlu dilakukan pengendalian tegangan seperti menaikkan tegangan pada jaringan jika tegangan terlalu rendah atau menurunkannya jika tegangan terlalu tinggi di jaringan. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk memperbaiki tegangan, salah satunya adalah pemasangan Automatic Voltage Regulator (AVR) pada jaringan distribusi primer

Jatuh Tegangan Jaringan Distribusi

Untuk mengetahui besar tegangan pada sisi beban maka terlebih dahulu dihitung besar jatuh tegangan yang terjadi di sepanjang saluran sebelum sampai ke beban. Jatuh tegangan ini dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$V_{drop} = IL(R\cos\theta + jX_L\sin\theta) \quad (1 \text{ Fasa}) \quad (2)$$

$$V_{drop} = \sqrt{3} IL(R\cos\theta + jX_L\sin\theta) \quad (3 \text{ Fasa}) \quad (3)$$

Dimana

- V_{drop} : Jatuh tegangan tiga fasa (V)
- I : Arus rata-rata di ujung seksi (A)
- R : Resistansi saluran (ohm)
- X : Reaktansi rangkaian (ohm/km/fasa)
- θ : Sudut fasa antara arus dan tegangan (derajat)
- L : Panjang Saluran (km)

Biasanya untuk mengetahui apakah jatuh tegangan yang terjadi itu sudah sesuai dengan standard yang ada maka jatuh tegangan dinyatakan dalam persen. Persamaannya menjadi

$$\%V_{drop(L-L)} = \frac{V_{drop}}{V_L} \times 100\% \quad (4)$$

Dimana

- ΔV : Jatuh tegangan dalam persen (%)

Besar tegangan setelah mengalami jatuh tegangan sebagai berikut :

$$V_r = V_k - V_{drop} \quad (5)$$

Persentase tegangan setelah mengalami jatuh tegangan sebagai berikut :

$$V_{L-N} (\%) = \frac{V_{L-N} - V_{drop}}{V_{L-N}} \times 100\% \quad (6)$$

$$V_{L-L} (\%) = \frac{V_{L-L} - V_{drop}}{V_{L-L}} \times 100\% \quad (7)$$

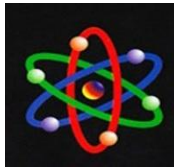
Dimana

- V_{drop} : Jatuh tegangan (V) (L-L) atau (L-N)
- V_{L-L} : Besar tegangan saluran(V) (L-L)
- V_{L-N} : Besar tegangan antar fasa (V) (L-N)

Pada perhitungan ini perlu ditekankan bahwa tegangan di SUTM harus berada sekitar 95 %-100 % saat beban berada di posisi minimum dan maksimum. Turun tegangan yang diizinkan masih diterima jika tegangan di Sambungan Rumah (SR) tidak kurang dari 342 Volt (fasa-fasa) dan 198 Volt (Fasa –Netral)

Efek Kapasitor Seri dan Kapasitor Shunt

Fungsi utama dari suatu kapasitor baik yang dipasang secara seri ataupun shunt untuk memperbaiki nilai tegangan dan aliran daya reaktif dari sistem dimana kapasitor itu dipasang. Kapasitor shunt dipakai untuk mengganti faktor daya beban sedangkan kapasitor seri digunakan untuk menyeimbangkan secara langsung beban induktif yang terdapat pada rangkaian dimana kapasitor itu dipasang.



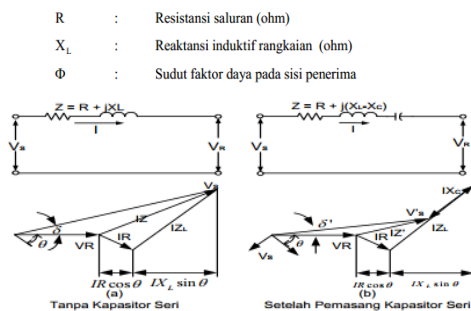
Dinamakan kapasitor seri karena kapasitor itu dipasang secara seri dengan saluran. Kapasitor seri akan mengkompensasi reaktansi induktif karena kapasitor merupakan reaktansi yang bernilai negatif yang dipasang seri dengan reaktansi induktif yang bernilai positif dari saluran.

Efek utama dari kapasitor seri ialah meminimalisasi atau bahkan menghilangkan jatuh tegangan yang disebabkan oleh reaktansi induktif dari saluran. Kapasitor seri akan lebih baik digunakan untuk menghasilkan faktor daya sistem yang lebih baik jika dibandingkan dengan kapasitor shunt. Persamaan jatuh tegangan saat sebelum dipasang kapasitor. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar-1 berikut ini :

$$V_{drop} = IR\cos\theta + jIX_L\sin\theta \quad (8)$$

Dimana

4



Gambar-1 Efek pemasangan kapasitor seri pada jaringan

Dari gambar-1 terlihat bahwa sudut untuk faktor daya yang terjadi setelah penambahan kapasitor akan semakin kecil yang berarti faktor daya saluran akan semakin baik dengan penambahan kapasitor seri dan berikutnya akan dilihat persamaan jatuh tegangan dari saluran setelah dipasang kapasitor :

$$V_{drop} = IR\cos\theta + jI(X_L - X_C)\sin\theta \quad \text{Volt} \quad (9)$$

Dimana

X_C : Reaktansi kapasitif dari kapasitor seri (Ohm)

Biasanya besar kapasitor seri yang digunakan pada jaringan distribusi memiliki besar reaktansi kapasitif yang lebih kecil daripada reaktansi induktifnya.

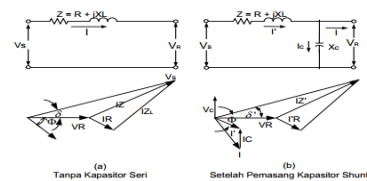
Kapasitor ini dinamakan shunt karena kapasitor terpasang secara shunt dengan saluran dan kapasitor jenis ini paling banyak digunakan pada sistem distribusi. Kapasitor shunt ini akan mensuplai daya dan arus reaktif untuk mereduksi komponen arus akibat dari beban induktif yang ada pada saluran. Dalam hal ini berarti kapasitor shunt akan memodifikasi karakteristik beban induktif dengan menghasilkan arus leading yang berlawanan arus lagging akibat beban induktif.

Aplikasi dari kapasitor shunt untuk sebuah feeder adalah untuk mereduksi magnitude arus sumber, memperbaiki faktor daya dan jatuh tegangan antara sisi penerima dan sisi pengirim. Berbeda dengan kapasitor seri, kapasitor shunt tidak menghasilkan arus efek dari penambahan kapasitor pada tempat pemasangannya. Persamaan jatuh tegangan pada feeder dengan faktor daya lagging dapat dilihat sebagai berikut. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar-2 berikut ini :

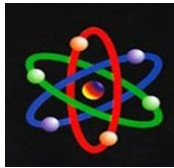
$$V_{drop} = I_R R + jI_X X_L \quad \text{Volt} \quad (10)$$

Dimana

R : Resistansi saluran (ohm)
 X_L : Reaktansi induktif rangkaian (ohm)
 I_R : Arus komponen daya real (A)
 I_X : Arus komponen reaktif dengan sudut daya lagging sebesar 90° (A)



Gambar-2 Efek pemasangan kapasitor shunt pada jaringan



Persamaan jatuh tegangan pada feeder dengan faktor daya lagging dapat dilihat sebagai berikut :

$$V_{app} = I_R R + j I_X X_L \text{ Volt} \quad (11)$$

Dimana

- R : Resistansi saluran (ohm)
- X_L : Reaktansi induktif rangkaian (ohm)
- I_R : Arus komponen daya aktif (A)
- I_X : Arus komponen reaktif dengan sudut daya lagging sebesar 90° (A)

Saat kapasitor shunt telah dipasang maka persamaannya akan menjadi :

$$V_{app} = I_R R + j(I_X X_L - I_C X_C) \text{ Volt} \quad (12)$$

Dimana

- X_C : Reaktansi kapasitif dari kapasitor seri (ohm)
- I_C : Arus komponen reaktif dengan sudut daya leading sebesar 90°

Kapasitor biasanya dipasang tidak boleh lebih dari empat buah kapasitor bank dengan ukuran yang sama pada masing-masing feeder. Ukuran maksimum kapasitor yang bisa digunakan untuk tegangan 15 kV ialah 1800 kVAR dan 3600kVAR untuk tegangan yang lebih tinggi lagi.

Pengaruh Kapasitor Shunt Terhadap Faktor Daya

Untuk melihat pengaruh pemasangan kapasitor shunt terhadap faktor daya maka akan ditinjau terlebih dahulu tentang segitiga daya.

$$\text{Daya Aktif : } P = V I \cos \phi \text{ Watt (1 Fasa) dan } P = \sqrt{3} V I \cos \phi \text{ (3 Fasa)} \quad (13)$$

$$\text{Daya Reaktif : } Q = V I \sin \phi \text{ VAR (1 Fasa) dan } Q = \sqrt{3} V I \sin \phi \text{ (3 Fasa)} \quad (14)$$

$$\text{Daya kompleks : } S = P + jQ = V I \cos \phi + j V I \sin \phi \text{ (1 Fasa)}$$

$$S = \sqrt{3} (P + jQ) = \sqrt{3} (V I \cos \phi + j V I \sin \phi) \text{ (3 Fasa)} \quad (15)$$

Dimana

- V : Tegangan pada sisi penerima (Volt)
- I : Arus pada sisi penerima (A)
- ϕ : Sudut faktor daya pada sisi penerima

Faktor daya ϕ adalah beda sudut fasa antara tegangan dan arus pada sisi penerima.

Dengan penambahan kapasitor shunt maka daya reaktif (Q) akan mereduksi. Faktor dayanya dapat dihitung sebagai berikut :

$$\cos \phi_1 = \frac{P}{S_1} = \frac{P}{(P^2 + Q_1^2)^{0.5}} \quad (16)$$

Setelah dilakukan pemasangan kapasitor shunt sebesar Q_C (KVAR) dengan besar daya aktif (P) maka faktor dayanya menjadi :

$$\cos \phi_2 = \frac{P}{(P^2 + (Q_1 - Q_C)^2)^{0.5}} \text{ dimana } Q_{(L-1) \text{ paiman}} = Q_{(L-1) \text{ paiman}} - Q_C \quad (17)$$

Dimana :

- P : Daya aktif tiga fasa setelah pemasangan kapasitor (kW)
- Q_1 : Daya reaktif sebelum pemasangan kapasitor (kVAR)
- Q_2 : Daya reaktif setelah pemasangan kapasitor (kVAR)
- Q_C : Besar kapasitor yang digunakan (kVAR)
- $\cos \phi_1$: Faktor daya sisi penerima sebelum pemasangan kapasitor shunt
- $\cos \phi_2$: Faktor daya sisi penerima setelah pemasangan kapasitor shunt

Besarnya kapasitor yang digunakan untuk menaikkan faktor daya sesuai dengan yang diinginkan adalah

$$\Delta Q_C = P (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \text{ dan } \phi = \tan^{-1} \left(\frac{Q_{(L-1)}}{P} \right) \quad (18)$$

Dimana

- Q_C : Besar kapasitor yang digunakan (kVAR)
- ϕ_1 : Sudut faktor daya sisi penerima sebelum pemasangan kapasitor shunt
- ϕ_2 : Sudut faktor daya sisi penerima setelah pemasangan kapasitor shunt

Untuk menghitung berapa besar kenaikan tegangan setelah penambahan kapasitor adalah

$$\delta V = \frac{(V_{app1}) - (V_{app2})}{1000 V_{LL}} \times 100\% \quad (19)$$

Dimana

- δV : Kenaikan tegangan (%)
- V_{app1} : Jatuh tegangan sebelum pemasangan kapasitor (volt)
- V_{app2} : Jatuh tegangan setelah pemasangan kapasitor (volt)

Karena $P_1 = P_2$ dan $Q_1 - Q_2 = Q_C$ maka akan didapatkan :

$$\delta V = \frac{L X_C Q_C}{10 V_{LL}^2} \quad (20)$$

Dari persamaan (18) diperoleh besar kapasitor tiga fasa yang akan digunakan untuk menaikkan tegangan dengan besar kenaikan yang diinginkan dengan persamaan berikut

$$Q_C = \frac{10 \delta V V_{LL}^2}{X L} \quad (21)$$

Dimana

- δV : Kenaikan tegangan (%)
- Q_C : Besar kapasitor yang digunakan (kVAR)
- V_{LL} : Tegangan nominal (kV)
- X : Reaktansi (ohm/km)
- L : Jarak saluran (km)

Setelah pemasangan kapasitor turan tegangan harus diukur kembali dengan menggunakan persamaan (22) berikut :

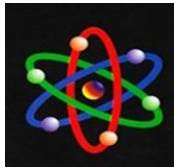
$$\Delta V = \frac{P L}{10 V_{LL}^2} (R + j X \tan \theta') \text{ atau } \Delta V = \frac{P L}{10 V_{LL}^2} (R + j X \tan \theta') \quad (22)$$

Dimana

- P : Daya aktif tiga fasa (kW)
- L : Panjang saluran (km)
- V_{LL} : Tegangan nominal sistem (kV)
- R : Resistansi saluran (ohm)
- X : Reaktansi rangkaian (ohm/km/fasa)
- θ' : Sudut fasa antara arus dan tegangan setelah penambahan kapasitor (derajat)

AUTOTRANSFORMATOR

Transformator yang paling sering digunakan dalam sistem distribusi yaitu transformator jenis autotransformator, autotransformator hanya memiliki satu kumparan dimana kumparan primer



tehubung secara seri dengan kumparan sekunder membentuk satu kesatuan. Transformator jenis ini memiliki reaktansi leakage lebih rendah dibandingkan dengan transformator biasa, rugi-rugi kecil, arus eksitasinya rendah dan lebih utama lagi ialah transformator jenis ini lebih murah dibandingkan transformator dengan dua kumparan.

Ratio pada Autotransformator dinyatakan sebagai berikut :

$$a = \frac{V_p}{V_s} \quad (23)$$

Dimana

- V_p : Tegangan di sisi tegangan primer (Volt)
- V_s : Tegangan di sisi tegangan sekunder (Volt)
- n : Rasio lilitan transformator
- n_1 : Banyak lilitan di sisi primer
- n_2 : Banyak lilitan di sisi sekunder

Dari persamaan (23) terlihat bahwa rasio dari rangkaian transformator selalu lebih besar daripada 1 sehingga rasio tegangan kumparan rangkaian :

$$\frac{V_s}{V_c} = \frac{n_2}{n_1} = n - 1 \quad (24)$$

Dimana

- V_s : Tegangan pada kumparan yang terhubung seri (Volt)
- V_c : Tegangan pada kumparan yang digunakan bersama (Volt)

dan rasio arusnya

$$\frac{I_c}{I_s} = \frac{I_c}{I_H} = \frac{I_x - I_H}{I_H} = n - 1 \quad (25)$$

Dimana

- I_s : Arus yang melewati kumparan yang digunakan bersama (A)
- I_c : Arus yang melewati kumparan seri (A)
- I_x : Arus keluaran pada sisi tegangan rendah (A)
- I_H : Arus keluaran pada sisi tegangan tinggi (A)

AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR

Automatic Voltage Regulator digunakan untuk memperbaiki nilai tegangan pada titik dimana alat itu dipasang. Automatic Voltage Regulator yang selanjutnya disebut AVR, digunakan adalah jenis step. Untuk saluran distribusi hanya terdiri dari satu fasa yang diletakkan pada jaringan distribusi primer. Pada dasarnya Automatic Voltage Regulator (AVR) ini merupakan sebuah autotransformator dengan banyak tap pada sisi sekundernya.

Komponen utamanya adalah mekanisme tap changing dan pengendaliannya. Tiap Automatic Voltage Regulator (AVR) biasanya dilengkapi oleh peralatan yang bisa mengendalikan perubahan tap secara otomatis berdasarkan tegangan yang masuk walaupun pada saat itu Automatic Voltage Regulator (AVR) dalam keadaan berbeban. Untuk menentukan rating sebuah regulator satu fasa dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{kVA Regulator} = \text{Range} \times \text{kVA sistem (kVA)} \quad (34)$$

Dimana

Range : 0.05 atau 0.1 tergantung pemakaian

Setelah pemasangan Automatic Voltage Regulator (AVR) maka kenaikan tegangan menjadi :

$$V_{L-N} = (\% \text{ step})(V_{SUTM(L-N)}) \text{ atau } V_{L-L} = (\% \text{ step})(V_{SUTM(L-L)}) \quad (35)$$

dan kenaikan tegangannya tiap step menjadi

$$V_{\text{step}(L-N)} = \frac{V_{L-N}}{\text{jumlah step}} \text{ kV atau } V_{\text{step}(L-L)} = \frac{V_{L-L}}{\text{jumlah step}} \text{ kV} \quad (36)$$

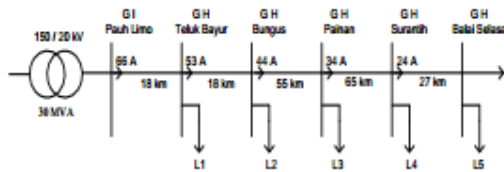
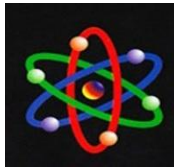
Serta nilai tegangan SUTM menjadi

$$V_{SUTM(L-N)}(AVR) = V_{SUTM(L-N)} + \Delta V_{(L-N)}(AVR) \quad (37)$$

$$V_{SUTM(L-L)}(AVR) = V_{SUTM(L-L)} + \Delta V_{(L-L)}(AVR) \quad (38)$$

DATA

Objek studi kasus dalam penelitian ini adalah feeder Painan yang lebih dikenal dengan feeder selatan yang mempunyai nilai jatuh tegangan sangat besar walaupun telah sebagai ekspres feeder. Nilai tegangan terima pada konsumen masih berada dibawah standar yang ditetapkan PLN (90% -105%). Pada gambar-6 terlihat hubungan suplai tenaga listrik untuk feeder selatan. dalam kondisi normal berasal dari 2 unit transformator GI Pauh Limo dengan kapasitas masing-masingnya 30 MVA yang terhubung paralel. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar-3 berikut :



Gambar-3 Diagram satu garis feeder selatan

Pada penelitian ini akan dilakukan identifikasi terjadinya jatuh tegangan dari gardu hubung Bungus sampai ke gardu hubung Balai Selasa. Feeder ini memiliki 5 (lima) titik beban yaitu Teluk Bayur, Bungus, Painan, Surantih dan Balai Selasa. Data-data jaringan yang terdapat di feederselatan ini dapat dilihat pada tabel-1.

Tabel-1 Data Jaringan feeder selatan dengan faktor daya 0,87

Lokasi	Jarak (km)	Jenis Penghantar AAAC	Resistansi ohm/km	Reaktansi Induktif ohm/km	Arus Beban Puncak (Ampere)
Paauh Limo - TL. Bayur	18	240 mm ²	0,1389	0,3127	66
TL. Byr - Bungus	18	240 mm ²	0,1389	0,3127	53
Bungus - Painan	55	240 mm ²	0,1389	0,3127	44
Painan - Surantih	65	150 mm ²	0,2253	0,3288	34
Surantih - Balai Selasa	27	150 mm ²	0,2253	0,3288	24

PERHITUNGAN JATUH TEGANGAN

Dari data tabel-1 dihitung jatuh tegangan yang terjadi pada jaringan distribusi primer. Jatuh tegangan ini akan berhubungan dengan rugi-rugi jatuh tegangan yang terjadi sepanjang jaringan distribusi primer. Perhitungan jatuh tegangan ini dilakukan pada saat beban puncak. Untuk contoh perhitungan dilakukan perhitungan besar jatuh tegangan yang terjadi pada titik beban gardu hubung Teluk Bayur. Dengan menggunakan persamaan (3) diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Titik beban GH. Teluk Bayur

$$V_{drop(L-L)} = \sqrt{3} \cdot I \cdot L \cdot [R \cos \phi + jX_L \sin \phi]$$

$$V_{drop(L-L)} = \sqrt{3} \cdot (66)(18)[(0,1389)(0,87) + j(0,3127)(0,4931)]$$

$$V_{drop(L-L)} = 0,40288 \text{ kV}$$

Persentase jatuh tegangan untuk arus beban pada gardu hubung Teluk Bayur, dihitung dengan menggunakan persamaan (4) dan diperoleh hasil sebagai berikut :

$$V_s = 20 \text{ kV}$$

$$\%V_{drop(L-L)} = \frac{V_{drop}}{V_s} \times 100\%$$

$$\%V_{drop(L-L)} = \frac{0,40288}{20} \times 100\% = 2,0144\%$$

Maka untuk tegangan terima pada gardu hubung Teluk Bayur, dihitung dengan menggunakan persamaan (5) dan di peroleh hasil sebagai berikut:

$$V_r = V_s - V_{drop}$$

$$V_r = 20 \text{ kV} - 0,40288 \text{ kV}$$

$$V_r = 19,5971 \text{ kV}$$

2. Titik beban GH. Bungus

$$V_{drop(L-L)} = \sqrt{3} \cdot I \cdot L \cdot [R \cos \phi + jX_L \sin \phi]$$

$$V_{drop(L-L)} = \sqrt{3} \cdot (53)(18)[(0,1389)(0,87) + j(0,3127)(0,4931)]$$

$$V_{drop(L-L)} = 0,32353 \text{ kV}$$

Persentase jatuh tegangan untuk arus beban pada gardu hubung Bungus, dihitung dengan menggunakan persamaan (4) dan diperoleh hasil sebagai berikut :

$$V_s = 19,5971 \text{ kV}$$

$$\%V_{drop(L-L)} = \frac{V_{drop}}{V_s} \times 100\%$$

$$\%V_{drop(L-L)} = \frac{0,32353}{19,5971} \times 100\% = 1,6509\%$$

Maka untuk tegangan terima pada gardu hubung Bungus, dihitung dengan menggunakan persamaan (5) dan di peroleh hasil sebagai berikut:

$$V_r = V_s - V_{drop}$$

$$V_r = 19,5971 \text{ kV} - 0,32353 \text{ kV}$$

$$V_r = 19,2735 \text{ kV}$$

Tabel-2 Jatuh Tegangan di sepanjang jaringan untuk arus beban pada tiap gardu hubung

LOKASI	JARAK (KM)	ARUS (Ampere)	V _{drop} (kV) (L-L)	% V _{drop} (L-L)
TL. Bayur	18	66	0,40288	2,0144%
Bungus	18	53	0,32353	1,6509%
Painan	55	44	0,82069	4,2581%
Surantih	65	34	0,97356	5,2759%
Balai Selasa	27	24	0,285456	1,6331%

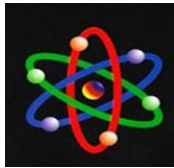
Besar tegangan pada tiap-tiap gardu hubung dari perhitungan diatas untuk tegangan kirim dan tegangan terima dapat dilihat pada tabel-3 sebagai berikut:

Tabel-3 Besar tegangan pada tiap gardu hubung

LOKASI	Tegangan Kirim (V _k) (kV)	Tegangan Terima (V _t) (kV)
Paauh Limo - TL. Bayur	20	19,5971
TL. Byr - Bungus	19,5971	19,2735
Bungus - Painan	19,2735	18,4528
Painan - Surantih	18,4528	17,4792
Surantih - Balai Selasa	17,4792	17,1937

PERHITUNGAN DAYA AKTIF (P) DAN DAYA REAKTIF (Q)

Untuk mencari berapa besar kapasitor yang akan dipergunakan nantinya terlebih dahulu perlu dilakukan perhitungan besar daya aktif dan daya reaktif dari titik beban



jatuh tegangan pada gardu hubung Painan, perhitungan ini dengan menggunakan persamaan (13) dan (14) akan dilakukan perhitungan daya aktif dan daya reaktif pada titik beban jatuh tegangan pada gardu hubung Painan sebagai berikut :

Daya aktif (P)

$$P_{(L-L)painan} = \sqrt{3} V_{T(painan)} \cdot I \cdot \cos \phi$$

$$P_{(L-L)painan} = \sqrt{3} \cdot 18452,8(44)(0,87)$$

$$P_{(L-L)painan} = 1222,02 \text{ kW}$$

Daya reaktif (Q)

$$Q_{(L-L)painan} = \sqrt{3} V_{T(painan)} \cdot I \cdot \sin \phi$$

$$Q_{(L-L)painan} = \sqrt{3} \cdot 18452,8(44)(0,4931)$$

$$Q_{(L-L)painan} = 692,42 \text{ kVAR}$$

PERHITUNGAN BESAR KAPASITORSHUNT

Perhitungan besar kapasitor maksimum yang digunakan dengan memperhatikan besar daya reaktif pada gardu hubung Painan yang akan dipasang kapasitor shunt, untuk menentukan itu perlu dilakukan perhitungan perbaikan profil tegangan di titik beban pada gardu hubung Painan dengan cara pemasangan kapasitor shunt sebagai berikut :

a. Kondisi sebelum pemasangan kapasitor shunt

- Panjang saluran Painan - Sulantih : 55 Km
- Arus beban maksimum fasa R : 44 A
- Resistansi saluran Painan : 0,1389 ohm/km
- Reaktansi saluran Teluk Bayur – Bungus : 0,3127 ohm/km
- Faktor daya : 0,87
- Jatuh tegangan sebelum pemasangan kapasitor : 0,82069 kV
- Tegangan sebelum pemasangan kapasitor : 18,4528 kV

b. Kondisi setelah pemasangan kapasitor shunt Pada perhitungan ini dipasang kapasitor shunt pada daerah gardu hubung Painan dengan kapasitas 600 kVAR karena daya reaktif beban maksimum titik beban pada gardu hubung Painan adalah sebagai berikut : Daya aktif pada titik beban gardu hubung Painan kW, setelah pemasangan kapasitor shunt dihitung dengan menggunakan persamaan (17) dan diperoleh hasil sebagai berikut :

$$Q_{(L-L)painan} = Q_{(L-L)painan} - Q_c$$

$$Q_{(L-L)painan} = 692,42 - 600$$

$$Q_{(L-L)painan} = 92,42 \text{ kVAR}$$

Besar faktor daya dihitung dengan menggunakan persamaan (18) dan diperoleh hasil sebagai berikut :

$$\phi_{painan} = \tan^{-1} \left(\frac{Q_{(L-L)painan}}{P_{(L-L)painan}} \right)$$

$$\phi_{painan} = \tan^{-1} \left(\frac{92,42}{1222,02} \right)$$

$$\phi_{painan} = \tan^{-1}(0,075)$$

$$\phi_{painan} = 4,324^\circ$$

$$P_{f_{painan}} = \cos(4,324^\circ)$$

$$P_{f_{painan}} = 0,99$$

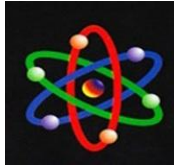
Setelah pemasangan kapasitor shunt dilakukan maka besar jatuh tegangan yang terjadi di titik beban gardu hubung Painan ke gardu hubung Balai Selasa dihitung dengan menggunakan persamaan (3) dan diperoleh hasil sebagai berikut :

Titik beban GH. Painan

$$V_{drop(L-L)} = \sqrt{3} I L [R \cos \phi + j X_L \sin \phi]$$

$$V_{drop(L-L)} = \sqrt{3} \cdot (44)(55)[(0,1389)(0,99) + j(0,3127)(0,1410)]$$

$$V_{drop(L-L)} = 0,60510 \text{ kV}$$



Titik beban GH. Painan

$$V_{drop(L-L)} = \sqrt{3} \cdot I \cdot L \cdot [R \cos \phi + jX_L \sin \phi]$$

$$V_{drop(L-L)} = \sqrt{3} \cdot (44)(55)[(0,1389)(0,99) + j(0,3127)(0,1410)]$$

$$V_{drop(L-L)} = 0,60510 \text{ kV}$$

Persentase jatuh tegangan untuk arus beban pada gardu hubung Painan, dihitung dengan menggunakan persamaan (4) dan diperoleh hasil sebagai berikut :

$$V_k = 19,2735 \text{ kV}$$

$$\%V_{drop(L-L)} = \frac{V_{drop}}{V_k} \times 100\%$$

$$\%V_{drop(L-L)} = \frac{0,60510}{19,2735} \times 100\% = 3,1395\%$$

Maka untuk tegangan terima pada gardu hubung Painan, dihitung dengan menggunakan persamaan (5) dan di peroleh hasil sebagai berikut:

$$V_r = V_k - V_{drop}$$

$$V_r = 19,2735 \text{ kV} - 0,60510 \text{ kV}$$

$$V_r = 18,6684 \text{ kV}$$

Dengan cara yang sama, akan didapat seperti tabel-4 berikut ini.

Tabel-4 Jatuh Tegangan di sepanjang jaringan untuk arus beban pada tiap gardu hubung

LOKASI	JARAK (km)	ARUS (Ampere)	V _{DROPP} (kV) (L-L)	%V _{drop} (L-L)
Painan	55	44	0,60510	3,1395%
Surantih	65	34	0,871783	4,6693%
Balai Selasa	27	24	0,2556076	1,4362%

Besar jatuh tegangan pada gardu hubung Painan ke gardu hubung Balai Selasa dari perhitungan diatas untuk tegangan kirim dan tegangan terima dapat dilihat pada tabel-5 sebagai berikut:

Tabel-5 Besar tegangan pada gardu hubung Painan ke gardu hubung Balai Selasa

LOKASI	Tegangan Kirim (V _k) (kV)	Tegangan Terima (V _t) (kV)
Bungus – Painan	19,2735	18,6684
Painan – Surantih	18,6684	17,7967
Surantih – Balai Selasa	17,7967	17,5411

PEMASANGAN AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR(AVR)

Nilai tegangan SUTM yang diperoleh setelah dilakukan pemasangan kapasitor shunt di titik beban gardu hubung Painan ternyata variasi tegangan yang diperoleh masih dalam batasan yang sempit. Untuk itu digunakan AVR (automatic voltage regulator) yang bertujuan untuk menaikkan tegangan pada gardu hubung Painan ke gardu hubung Balai Selasa agar mencapai tegangan pada rating 10%. Besar kapasitas Automatic Voltage Regulator (AVR) yang digunakan tergantung pada besar tegangan yang akan dinaikkan serta posisi Automatic

Voltage Regulator (AVR) di jaringan. Berdasarkan kenaikan nilai tegangan SUTM setelah dilakukan pemasangan kapasitor shunt yang belum memenuhi standard yang telah ditetapkan maka untuk perbaikan selanjutnya dipergunakan Automatic Voltage Regulator (AVR).

Perhitungan Ratio Tegangan AVR

Untuk menghitung ratio tegangan pada AVR (*automatic voltage regulator*) digunakan persamaan (23) sebagai berikut:

$$a = \frac{V_p}{V_s}$$

$$a = \frac{19 \text{ kV}}{21 \text{ kV}} = 0,904$$

Karena tegangan yang dikirim ke sisi primer pada gardu hubung Painan sebesar 18,4528 kV maka untuk tegangan sisi sekundernya berdasarkan persamaan berikut ini:

$$V_s = \frac{V_p}{a}$$

$$V_s = \frac{18,4528}{0,904} = 20,4123 \text{ kV}$$

Setelah didapat tegangan kirim ke gardu hubung Painan sebesar 20,4123 kV maka untuk titik beban gardu hubung Painan ke gardu hubung Balai Selasa didapat presentase jatuh tegangan dan tegangan terima untuk tiap gardu hubung. Digunakan persamaan (4) dan (5) sebagai berikut:

Titik beban GH. Painan

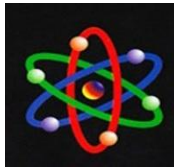
Persentase jatuh tegangan untuk arus beban pada gardu hubung Painan, dihitung dengan menggunakan persamaan (4) dan diperoleh hasil sebagai berikut :

$$V_{drop(L-L)} = 0,82069 \text{ kV}$$

$$V_k = 20,4123 \text{ kV}$$

$$\%V_{drop(L-L)} = \frac{V_{drop}}{V_k} \times 100\%$$

$$\%V_{drop(L-L)} = \frac{0,82069}{20,4123} \times 100\% = 4,0201\%$$



Maka untuk tegangan terima pada gardu hubung Painan, dihitung dengan menggunakan persamaan (5) dan di peroleh hasil sebagai berikut:

$$V_r = V_s - V_{drop}$$

$$V_r = 20,4123kV - 0,82069kV$$

$$V_r = 19,5916 kV$$

Dengan cara yang sama, akan didapat seperti tabel-6 dibawah ini.

Tabel-6 Jatuh Tegangan di sepanjang jaringan untuk arus beban pada tiap gardu hubung

LOKASI	JARAK (km)	ARUS (Ampere)	Vsmp (kV) (L-L)	%V _{drop} (L-L)
Painan	55	44	0,82069	4,2581%
Surantih	65	34	0,97356	5,2759%
Balai Selasa	27	24	0,285456	1,6331%

Besar jatuh tegangan pada gardu hubung Painan ke gardu hubung Balai Selasa dari perhitungan diatas untuk tegangan kirim dan tegangan terima dapat dilihat pada tabel-7 sebagai berikut:

Tabel-7 Besar tegangan pada gardu hubung Painan ke gardu hubung Balai Selasa

LOKASI	Tegangan Kirim (Va) (kV)	Tegangan Terima (Vt) (kV)
Bungus – Painan	20,4123	19,5916
Painan – Surantih	19,5916	18,6180
Surantih – Balai Selasa	18,6180	18,3326

Pada tabel-8 terlihat bahwa kenaikan tegangan setelah pemasangan AVR (*automatic voltage regulator*) sudah memenuhi standard yang telah diharapkan yaitu dibawah 10% dari tegangan normal.

ANALISA

Jatuh tegangan dengan masing-masing gardu hubung adalah Teluk Bayur 2,0144%, Bungus 1,6509%, Painan 4,2581%, Surantih 5,2759% dan Balai Selasa 1,6331%. Untuk total persentasae jatuh tegangan pada gardu hubung adalah 14,8324%, maka total jatuh tegangan sampai ke garduhubung Balai Selasa adalah 2,806 kV.

Setelah perhitungan jatuh tegangan maka untuk perbaikan jatuh tegangan menggunakan kapasitor shunt yang dipasang pada gardu hubung painan, dengan kapasitas kapasitor sebesar 600 kVAR. Dari hasil perhitungan jatuh tegangan dengan menggunakan kapasitor shunt pada gardu hubung Painan terlihat bahwa kenaikan tegangan hanya kecil sekali dan itu belum memenuhi standard 10% dari tegangan normal.

Maka untuk perbaikan selanjutnya diganti dengan menggunakan AVR (*automatic voltage regulator*) sebagai

perbaikan jatuh tegangan yang terjadi pada gardu hubung Painan. Karena tegangan pada gardu hubung painan sebesar 18,4528 kV maka untuk tegangan sisi primer digunakan tap trafo 19 kV dan sisi sekunder sebesar 21 kV, maka didapat ratio tegangan sebesar 0,904. maka tegangan kirim pada gardu hubung painan 20,4123 kV. Perbandingan sebelum pemasangan AVR (*automatic voltage regulator*) dan setelah pemasangan AVR (*automatic voltage regulator*) dapat dilihat pada tabel-8berikut ini:

Tabel-8 Perbandingan tegangan sebelum dan sesudah pemasangan

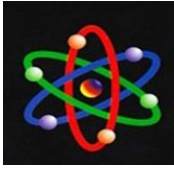
LOKASI	Sebelum (kV)	Sesudah (kV)
Bungus – Painan	18,4528	20,4123
Painan – Surantih	18,4528	19,5916
Surantih – Balai Selasa	17,4792	18,6180

Dari hasil perhitungan jatuh tegangan dengan menggunakan AVR (*automatic voltage regulator*) pada gardu hubung Painan terlihat bahwa kenaikan tegangan telah memenuhi standard 10% dari tegangan normal. Maka dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan kapasitor dengan kapasitas 600 kVAR tidak layak untuk perbaikan jatuh tegangan di jaringan yang telah dihitung karena kenaikan tegangan hanya kecil, dengan memasang AVR tegangan yang jatuh bisa diperbaiki sehingga masih dalam batas tegangan normal.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Jatuh tegangan dengan masing-masing gardu hubung adalah Teluk Bayur 2,0144%, Bungus 1,6509%, Painan 4,2581%, Surantih 5,2759% dan Balai Selasa 1,6331%. Untuk total persentasae jatuh teganganpada gardu hubung adalah 14,8324%, maka total jatuh tegangan sampai ke gardu hubung Balai Selasa adalah 2,806 kV.



2. Pemasangan kapasitas kapasitor shunt berdasarkan daya reaktif pada beban maksimum pada titik-titik beban dimana kapasitas kapasitor untuk beban maksimum untuk titik beban gardu hubung Painan adalah 600 kVAR. Total persentase jatuh tegangan setelah pemasangan kapasitor pada gardu hubung Painan ke Balai Selasa sebesar 9,245% dan besar jatuh tegangannya adalah 1,7324 kV. 3. AVR (automatic voltage regulator) yang digunakan sebanyak 1 buah, diletakkan pada gardu hubung Painan dan telah memenuhi standard 10% dari tegangan normal. Tap yang dipakai yaitu tap 19 kV primer 21 kV sekunder. Total persentase jatuh tegangan setelah pemasangan AVR (automatic voltage regulator) pada gardu hubung Painan ke Balai Selasa sebesar 11,1671% dan besar jatuh tegangannya adalah 0,8206 kV.

SARAN

Untuk perhitungan rugi-rugi yang terjadi pada jaringan distribusi ini harus dilakukan dengan lebih terperinci lagi dengan menambahkan perhitungan rugi-rugi daya non teknis.

DAFTAR PUSTAKA

- Burke, J. James (1994). Power Distribution Engineering Fundamental and Application. New York : Marcel Dekker Inc
- Doni Kurniawan. (2004). Analisa Rugi-Rugi Daya Listrik Pada Saluran Distribusi 20 kV Dengan Metoda Momen Statistik di Feeder Kuranji PT. PLN Cabang Padang. Padang : Universitas Andalas
- Grainger J, John. (1994). Power Sistem Analysis. New York : McGraw Hill
- Gonen, Turan (1986). Electric Power Distribution Sistem

Engineering. New York : McGraw Hill

- Gonen, Turan (1988). Modern Power Sistem Analysis. Singapore : John Wiley & Sons
- Hadi, Abdul dan Pabla, A.S. (1994). Sistem Distribusi Daya Listrik. Jakarta : Erlangga