

# ANALISA PENGATURAN TEGANGAN MENGGUNAKAN REAKTOR SHUNT PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV BARIKIN-TANJUNG

Puhrani Burhan<sup>(1)</sup>, Setia Graha<sup>(1)</sup>, dan Joni Riadi<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Banjarmasin

## Ringkasan

*Suatu system tenaga listrik yang baik harus memiliki nilai tegangan yang tidak melebihi batas toleransinya, batas toleransi yang diperbolehkan untuk suatu nilai tegangan adalah dibawah 10 % dan diatas 5% dari nilai tegangan nominal, nilai tegangan yang konstan akan mengoptimalkan unjuk kerja dari peralatan listrik yang digunakan oleh konsumen.*

*Pada penelitian ini tujuan yang akan dicapai adalah untuk mempertahankan tegangan sistem yang konstan pada batas toleransinya nominalnya yaitu 145 KV – 157,5 KV, untuk mencapai tegangan konstan ini dilakukan dengan memasang reaktor shunt pada gardu induk (GI), dimana reaktor shunt berfungsi sebagai pengontrol tegangan system apabila terjadi kenaikan tegangan maupun penurunan tegangan melebihi batas yang diijinkan. Untuk menentukan kapasitas dari pada reaktor shunt yang akan dipasang maka terlebih dahulu harus menganalisa keadaan tegangan system baik dalam keadaan normal maupun dalam keadaan tidak normal. Proses pengontrolan tegangan jaringan transmisi 150 KV pada penelitian ini disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak power world versi 7.*

**Kata Kunci** : saluran transmisi, tegangan, reaktor shunt

## 1. PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Dengan pertumbuhan beban listrik tiap tahun terus meningkat seiring semakin meningkatnya Perkembangan industri dan perumahan maka penyediaan listrik akan terganggu. Pertumbuhan beban akan berpengaruh kepada system pelayanan, berupa pemadaman listrik dan juga mempengaruhi perubahan tegangan yang signifikan.

Kualitas daya listrik memiliki tiga parameter penting yaitu tegangan, arus dan frekuensi. Semua penyimpangan nilai pada tegangan, arus dan frekuensi dapat memperburuk kualitas daya listrik yang dihantarkan. Buruknya kualitas daya listrik dapat menyebabkan kegagalan atau salah operasi beban listrik pada konsumen.

Pertumbuhan beban yang terus meningkat sudah tentu pembangkit tenaga listrik yang ada tidak dapat dipertahankan karena dengan mempertahankan sumber daya listrik yang ada maka system pelayanan PLN sebagai penyedia daya akan terganggu karena penyedia daya terbatas sedangkan beban terus bertambah, untuk mengantisipasinya pada jangka pendek dapat dilakukan dengan pemadaman listrik secara bergantian, dengan cara ini tentu dapat memperburuk pada kualitas pelayanan terhadap konsumen.

Untuk mengantisipasi pertumbuhan kebutuhan listrik jangka panjang, maka dalam penelitian ini mengambil langkah dengan menginterkoneksi system pembangkit yang ada dengan pembangkit yang lain melalui saluran transmisi 150 KV pada saat beban tinggi dan melepas system interkoneksi pada beban ringan, namun dampak yang timbul akan berdampak terhadap perubahan tegangan pada Gardu-gardu induk, melebihi batas toleransi yang di iijinkan, Dengan memasang reaktor shunt pada gardu induk-gardu induk tersebut kestabilan tegangan sistem dapat dipertahankan dimana reaktor shunt dapat berfungsi digunakan untuk menstabilkan tegangan listrik baik saat tegangan listrik turun atau tegangan naik melebihi dari batasan toleransinya.

Dalam penelitian ini target yang akan dicapai adalah *mempertahankan* tegangan system yang konstan pada batas tegangan yang di iijinkan dimana suatu system tenaga listrik yang baik harus memiliki nilai tegangan yang diberikan tidak melebihi batas toleransinya. Batas toleransi yang baik memiliki nilai tegangan tidak melebihi nilai tegangan toleransinya, yaitu dibawah 10 % dan diatas 5 % dari nilai tegangan nominalnya (145 KV – 157,5 KV), karena kestabilan nilai Tegangan pada level ini diharapkan akan mengoptimal unjuk kerja peralatan listrik.

### Perumusan dan Batasan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Kondisi tegangan system saat mengalami perubahan tegangan dan setelah dipasang reaktor shunt.
2. Berapa besarnya kebutuhan kapasitas Reaktor Shunt yang dipasang pada sistem untuk mendapatkan level tegangan yang dipertahankan

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Diterapkan pada sistem tenaga listrik PLN wilayah KalSelTeng, saluran transmisi 150 KV Barikin – Tanjung
2. Menganalisa tegangan system pada saat mengalami perubahan tegangan
3. Proses perbaikan tegangan hanya pada saluran Transmisi 150 KV Barikin –Tanjung
4. Perbaikan tegangan dilakukan dengan memasang reaktor shunt
5. Proses perbaikan disimulasikan menggunakan perangkat lunak Power world ver 7

### Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan penelitian yang akan dilakukan adalah untuk memberikan solusi dalam mempertahankan kestabilan tegangan saluran transmisi 150 KV Barikin – Tanjung pada saat terjadi perubahan tegangan system melebihi level tegangan yang diijinkan. Sehingga dengan melakukan proses perbaikan dengan memasang reaktor shunt maka level tegangan yang diharapkan dan bernilai konstan dapat dipertahankan.

Manfaat penelitian ini adalah dapat memberi kontribusi terhadap perkembangan system ke-listrikan sehingga melalui metode yang diusulkan diharapkan dapat meningkat kualitas pelayanan penyedia tenaga listrik terhadap konsumen.

## 2. DASAR TEORI

### Sistem Tenaga Listrik.

Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga komponen utama yaitu pembangkitan tenaga listrik, saluran transmisi dan distribusi. Pada pusat pembangkit tenaga listrik dilakukan pembangkitan tenaga listrik dengan cara memanfaatkan generator sinkron yang diputar dengan bantuan tenaga uap, tenaga angin, tenaga air, tenaga gas dll, melalui turbin.

Tenaga listrik yang dibangkitkan dari pusat pembangkit tenaga listrik akan disalurkan ke pusat-pusat beban melalui saluran transmisi, sebelum ditransmisikan tegangan dinaikkan dengan menggunakan transformator penaik tegangan pada pusat pembangkit, dinaikkan ke level tegangan tinggi 70 KV sampai 150 KV

atau tegangan ekstra tinggi di atas 150 KV. Saluran transmisi yang digunakan bisa berupa saluran udara atau kabel bawah tanah, dengan mengilustrasikan proses pembangkitan, transmisi, distribusi dari pusat listrik ke konsumen.

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi pada Gardu Induk (GI) untuk diturunkan tegangannya menggunakan transformator penurun tegangan (*step down*) menjadi tegangan menengah atau tegangan distribusi primer. Tegangan menengah yang digunakan oleh PLN sebesar 20 KV. Pada level tegangan menengah ini, tenaga listrik dapat digunakan secara langsung oleh konsumen yang berdaya besar seperti industry-industri besar.

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer, kemudian tegangan diturunkan pada gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah 220/380 volt yang kemudian disalurkan kerumah-rumah pelanggan dengan menggunakan jaringan tegangan rendah.

### Perancangan Reaktor Pengendali Tegangan

Pada saat tegangan mengalami kenaikan karena adanya gangguan pada beban yang bekerja pada sistem mengakibatkan lonjakan tegangan yang berbahaya pada system yang apabila lambat ditangani mengakibatkan gagalnya system yang biasanya diistilahkan "Black Out" yaitu matinya penyulang dikarenakan over-loadnya beberapa pembangkit dan berakibat gagalnya pembangkit tersebut. Hal ini sangat penting untuk dihindari karena akan mengakibatkan recovery yang memakan waktu lama walaupun digunakan system penambahan beban secara berkala.

Penggunaan suatu alat pengendali tegangan mutlak diperlukan agar hal tersebut diatas dapat dihindari, salah satu alat yang harus dipasang untuk mengatasi masalah diatas adalah rector, maka kita akan menghitung kebutuhan reactor yang diperlukan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Naiknya Tegangan Akibat Gangguan

Dari data terlihat bahwa saat terjadinya gangguan di daerah barikin-tanjung maka tegangan pada GI Barikin mengalami kenaikan 165,7KV, Asam-asam naik menjadi 167,4KV padahal persentase kenaikan yang diizinkan hanya berkisar antara 5% dari 150KV yaitu 157,5 dan pada tegangan 70KV adalah 73,5KV. Hal ini jelas berbahaya pada system KALSEL-TENG secara keseluruhan.

### Perhitungan Daya Sistem sebelum terkoneksi dengan Barikin-Tanjung

Data Penyulang Sistem Kalselteng sebelum masuknya Transmisi Barikin-Tanjung sebagai

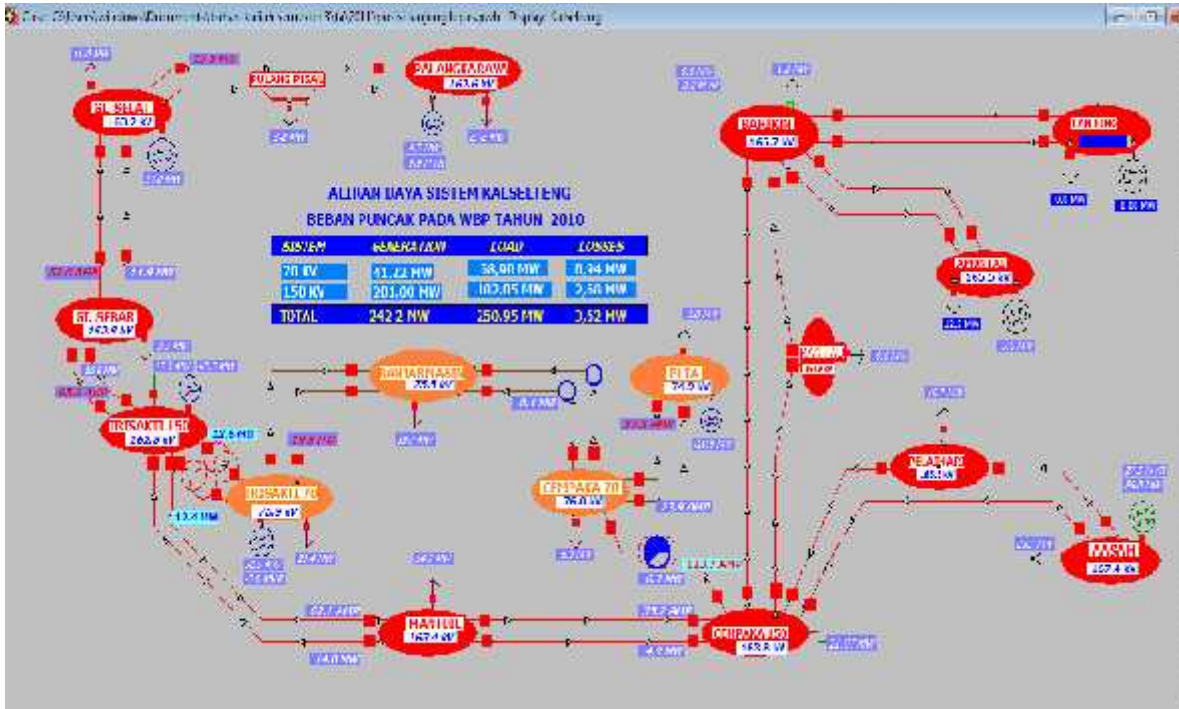
berikut : Panjang Saluran 106.25km, R/km =  $5.24 \times 10^{-4}$ ohm, X/km = 0.002ohm, Admintansi kapasitor/km = 0.0185mho,  $V_R$  (tegangan terima) = 151.8KV.  $P_s = 161.56$ MW  $\phi = \text{tg}^{-1}$

$$\frac{\text{MVAR}}{\text{MW}} = \text{tg}^{-1} \frac{-153.7}{161.56} = -0.95$$

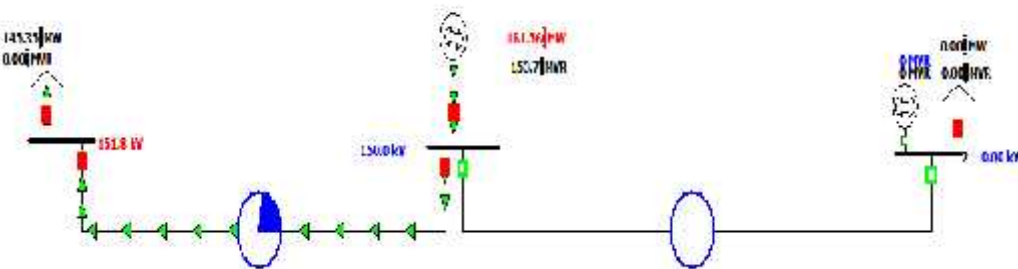
maka  $C_{nya}$  adalah  $j303.6 / j2\pi \times 3.14 \times 50 \times 151.8 \times 10^3 = j303.6 / j47,665,200 = 6.37 \times 10^{-6}$ F

Notasi Polar untuk menyatakan bilangan kompleks :

$$\text{Maghnitude } r = \sqrt{a^2 + b^2}$$



Gambar 1. Naiknya Tegangan Sistem



Gambar 2. Sistem sebelum terkoneksi Transmisi Barikin-Tanjung

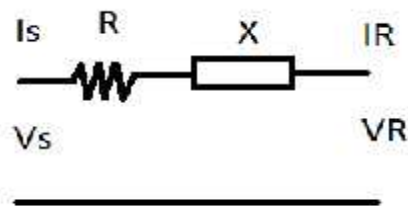
$\text{tg}^{-1} (-0.95) = -43.53$   
 $\cos (-43.53) = 0.725$   
 $\sin (-43.53) = 0.68875$   
 $R \text{ total} = 106.25 \times 5.24 \times 10^{-4} = 0.055675 \text{ ohm}$   
 $XL \text{ total} = 106.25 \times 0.002 = 0.2125 \text{ ohm}$   
 $Yc \text{ total} = 106.25 \times 0.0185 = 1.966 \text{ mho}$

$$I_R = \frac{P}{V_R \sqrt{3} \cos \phi} \quad (4.1)$$

$$I_R = 161.56 \times 10^6 / (151.8 \times 10^3) \times 0.725 \times 1.732 = 161.56 \times 10^6 / 190,615.26 = 847.57 \text{ A sudut } (-43.53)^\circ$$

Arus Charging  $I_c = jXL \times V_R = j0.002 \times 151.8 \times 10^3 = j303.6$ A

$$I_c = j2 \text{ f} V_R C, \quad (4.2)$$



Gambar 3. Rangkaian Pengganti Sistem

Arqument =  $\tan^{-1} \left( \frac{X}{R} \right)$

maka  $a = r \cos$  dan  $b = r \sin$  (4.3)

Dengan menggunakan cara analisa saluran transmisi jarak menengah metode T nomial :

$Z = 0.055675 + j0.2125$  diubah ke bentuk polar :

$$r = \sqrt{(0.055675)^2 + (0.2125)^2}$$

$$r = \sqrt{(0.0031) + (0.0452)}$$

$$r = \sqrt{0.0483} = 0.21967$$

sudutnya =  $\tan^{-1} \frac{0.2125}{0.055675} = \tan^{-1} 3.816794 = 75.3185^\circ$

$$A = 1 + \frac{ZxY}{Z} \quad (4.4)$$

$$A = 1 + \frac{(0.055675 + j0.2125) \times (j0.0185)}{(j0.0010299875) - (0.0039)} = 1 + \frac{Z^4 \times Y}{Z}$$

$$A = 1 + \frac{j0.000515 - 0.00195}{j0.000515}$$

A diubah ke bilangan Polar menjadi :

$$r = \sqrt{(0.99)^2 + (0.000515)^2}$$

$$r = \sqrt{(0.98) + (0.00000026)}$$

$$r = \sqrt{0.980000265} = 0.98$$

sudutnya =  $\tan^{-1} \frac{0.000515}{0.98} = 0.03^\circ$

$$B = Z + \frac{Z^4 \times Y}{Z} \quad (4.5)$$

$$Z^2 = Z \times Z = (0.055675 + j0.2125) \times (0.055675 + j0.2125) = (0.003 + j0.011831 + j0.011831 - 0.0452) = -0.0422 + j0.047324$$

$$B = (0.055675 + j0.2125) + ((-0.04 + j0.047) \times j0.0185) / 4$$

$$B = (0.055675 + j0.2125) + (-j0.00074 - 0.0008695) / 4$$

$$B = (0.016 + j0.078) + (-0.000217375 - j0.000185)$$

$$B = 0.015783 + j0.077815$$

B diubah ke bilangan polar menjadi :

$$r = \sqrt{(0.01578)^2 + (0.077815)^2}$$

$$r = \sqrt{(0.000249) + (0.0060552)}$$

$$r = \sqrt{0.0063042} = 0.0793988$$

sudutnya =  $\tan^{-1} \frac{0.077815}{0.01578} = 78.54^\circ$

$$V_s = A V_R + B I_R \quad (4.6)$$

$$V_s = (0.98 \text{ sudut } 0.03^\circ) \times (151.8 \times 10^3 \text{ sudut } 0^\circ) + (0.0793988 \text{ sudut } 78.54^\circ) \times (847.57 \text{ A sudut } -43.53^\circ)$$

$$= (148764 \text{ sudut } 0.03^\circ) + (67.296 \text{ sudut } 35.01^\circ)$$

Vs diubah ke bilangan rektanguler menjadi :

$$A V_R = (148764 \text{ sudut } 0.03^\circ) \text{ dimana :}$$

$$r \cos 0.03 = 148764 \times 0.99 = 148763.98$$

$$r \sin 0.03 = 148764 \times 5.24 \times 10^{-4} = j77.89$$

$$B I_R = (67.296 \text{ sudut } 35.01^\circ) =$$

$$r \cos 35.01 = 67.296 \times 0.819 = 55.1189$$

$$r \sin 35.01 = 67.296 \times 0.57372 = j38.61$$

$$V_s = 148819.1 + j116.5$$

Vs diubah ke bentuk polar menjadi :

$$r = \sqrt{(148819.1)^2 + (116.5)^2}$$

$$r = \sqrt{(22,147,124,524.81) + (13,572.25)}$$

$$r = \sqrt{22147138090} = 148819.15 \text{ V}$$

sudutnya =  $\tan^{-1} \frac{116.5}{148819.1} = 0.044^\circ$

$$I_s = Y V_R + A I_R \quad (4.7)$$

$$I_s = j0.0185 \times (151.8 \times 10^3 + j0) + (0.98 \text{ sudut } 0.03^\circ) \times 847.57 \text{ A sudut } (-43.53^\circ)$$

$$= j2808.3 + (830.62 \text{ sudut } -43.501^\circ) = j2,808.3 + \text{rektangulernya } A I_R$$

( $r \cos -43.5 = 830.62 \times 0.73 = -606.35$ )

$$r \sin -43.5 = 830.62 \times 0.688 = j -571.46$$

$$I_s = -606.35 + j2,236.84$$

I<sub>s</sub> diubah ke polar menjadi :

$$r = \sqrt{(-606.35)^2 + (2,236.84)^2}$$

$$r = \sqrt{(367696.7) + (5003453.19)}$$

$$r = \sqrt{5371149.89} = 2,317.57 \text{ A}$$

sudutnya =  $\tan^{-1} \frac{2236.84}{-606.35} = \tan^{-1} -3.69 = -74.83^\circ$

$$s = I_s + V_s \quad (4.8)$$

$$s = -74.83^\circ + 0.044^\circ = -74.786$$

Pfs =  $\cos -74.786 = 0.26$

$$P_s = \sqrt{3} \times V_s \times I_s \times \cos s \quad (4.9)$$

$$P_s = 1.732 \times 148819.15 \times 2,317.57 \times 0.26 = 155314826.5 \text{ W atau sekitar } 155.31 \text{ MW dan}$$

$$Q_s = \sqrt{3} \times V_s \times I_s \times \sin \theta \quad (4.10)$$

$$Q_s = 1.732 \times 148819.15 \times 2,317.57 \times 0.68875 = 411,434,949 \text{ VAR atau } Q_s = 411.43 \text{ MVAR}$$

perbandingan : masing-masing Vs dan V<sub>R</sub> menyatakan tegangan jala-jala dalam KV maka daya fasa tiga pada ujung kirim adalah :

$$V_s = 148819.15 < 0^\circ, V_R = 151.8 \times 10^3 < 0^\circ, D = 0.98 < 0.03^\circ, \text{ dan } B = 0.0793988 < 78.54^\circ$$

$$P_s = \frac{V_s V_R}{B} \cos(\beta + \delta) + \frac{D}{B} V_s^2 \cos(\beta - \Delta) \text{ MW}$$

$$P_s = \frac{(148819.15)(151.8 \times 10^3)}{0.0793988} \cos(78.54 + 0) + \frac{0.98}{0.0793988} 148819.15^2 \cos(78.54 - 0.03)$$

$$P_s = \frac{2.259 \times 10^{11}}{0.0793988} \cos 78.54 + (12.343)(2.2147 \times 10^{10}) \cos 78.51$$

$$P_s = 2.845 \times 10^{11} \times 0.19 + 2.73 \times 10^{11} \times 0.19 = 5.4 \times 10^{10} + 5.187 \times 10^{10} = 10.587 \times 10^{10} \text{ W}$$

$$Q_s = \frac{V_s V_R}{B} \sin(\beta + \delta) + \frac{D}{B} V_s^2 \sin(\beta - \Delta) \text{ MVAR}$$

$$Q_s = 2.845 \times 10^{11} \times 0.98 + 2.73 \times 10^{11} \times 0.97 = 2.788 \times 10^{11} + 2.648 \times 10^{11} = 5.436 \times 10^{11} \text{ VAR}$$

$$V_s = V_R + I_s Z = 151.8 \times 10^3 \text{ sudut } 0^\circ + (2,317.57 \text{ sudut } -74.83^\circ) \times (0.21967 \text{ sudut } 75.3185^\circ) = 165.8 \times 10^3 + 507.23 \text{ sudut } 0.7285^\circ$$

kemudian diubah menjadi bentuk rektanguler menjadi :

$$V_R : 151.8 \times 10^3 + j0$$

$$I_s Z : 509.1 \text{ sudut } 0.49^\circ$$

$$r \cos 0 = 509.1 \times 0.99992 = 504$$

$$r \sin 0 = 509.1 \times 0.0086 = 4.38$$

maka  $V_s = 152,304 + j4.38$

diubah ke polar menjadi :

$$r = \sqrt{(152,304)^2 + (4.38)^2}$$

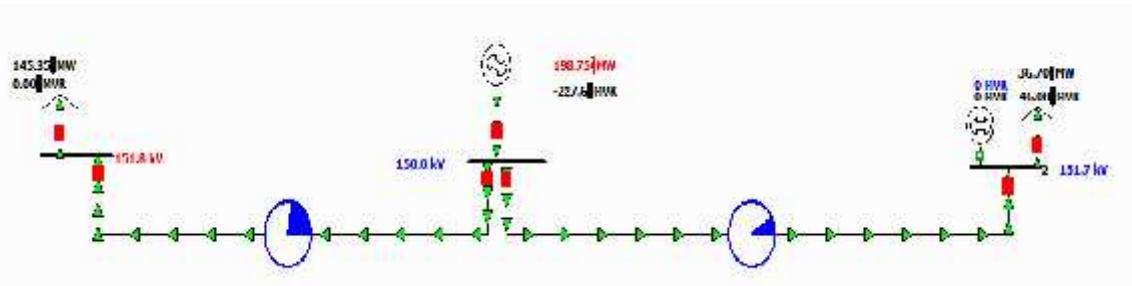
$$r = \sqrt{(23,196,508,420) + (19.18)}$$

$$r = \sqrt{23,196,508,440} = 152,304 \text{ V}$$

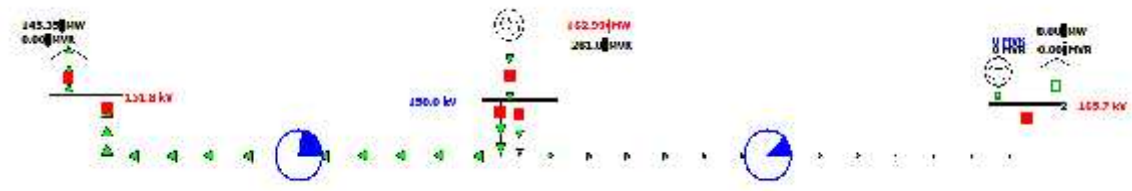
sudutnya =  $\tan^{-1} \frac{4.38}{152304} = \tan^{-1} 2.88 \times 10^{-5} = 0^\circ$

Tabel 1. Data dari AP2B (data Penghantar)

| No | Penghantar   | Tegangan (kV) | Jarak (km) | Jenis / Penampang (mm) | Single / Bundle Conductor | R1      | X1      | R0      | X0      | B1       |
|----|--------------|---------------|------------|------------------------|---------------------------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 17 | S-40R        | 70            | 41.00      | 705R 240               | Single                    | 0.02175 | 0.05021 | 0.02121 | 0.24065 | 0.025828 |
| 18 | S-40R        | 70            | 41.00      | 705R 240               | Single                    | 0.02175 | 0.05021 | 0.02121 | 0.24065 | 0.025828 |
| 11 | S-40R        | 70            | 125.500    | 705R 240               | Single                    | 0.02175 | 0.05021 | 0.02121 | 0.24065 | 0.025828 |
| 15 | ECAT         | 70            | 30.500     | ACSR 240               | Single                    | 0.02019 | 0.07516 | 0.05183 | 0.22866 | 0.021460 |
| 18 | PULANG PISAU | 70            | 35.000     | ACSR 240               | Single                    | 0.04450 | 0.16960 | 0.12127 | 0.50765 | 0.054000 |
| 17 | CEMPAKA      | 70            | 80.430     | ACSR 240               | Single                    | 0.03185 | 0.12468 | 0.05821 | 0.35043 | 0.033300 |
| 14 | BARUKI       | 70            | 46.421     | 705R 240               | Single                    | 0.02404 | 0.08404 | 0.03567 | 0.29264 | 0.029111 |
| 19 | BARUKI 1     | 70            | 46.702     | 705R 240               | Bundle                    | 0.01484 | 0.05805 | 0.03567 | 0.29264 | 0.029111 |
| 20 | BARUKI 2     | 70            | 58.702     | ACSR 240               | Bundle                    | 0.01589 | 0.07866 | 0.03833 | 0.32709 | 0.051880 |



Gambar 4. Transmisi Barikin-Tanjung yang terkoneksi Sistem



Gambar 5. Kenaikan Tegangan Akibat Gangguan (hilangnya beban)

**Perhitungan Kebutuhan Reaktor**

Sistem Kalselteng setelah masuknya Transmisi Barikin-Tanjung dan beban tanjung yang lepas sebagai berikut : Panjang Saluran 59.762 km, R/km =  $5.35 \times 10^{-4}$  ohm, X/km = 0.00263 ohm, Admittansi kapasitor/km = 0.02024 mho,  $V_R$  (tegangan terima) = 165.7KV.  $P_s = 162.99$  MW,  $\phi = \text{tg}^{-1} \frac{\text{MVAR}}{\text{MW}} = \text{tg}^{-1} \frac{-281}{162.99} = -1.7$   
 $\text{tg}^{-1} (-1.7) = -59.885$   
 $\cos (-59.885) = 0.5$   
 $\sin (-59.885) = 0.865$   
 $R \text{ total} = 59.762 \times 5.35 \times 10^{-4} = 0.03198 \text{ ohm}$   
 $XL \text{ total} = 59.762 \times 0.00263 = 0.15732 \text{ ohm}$   
 $Yc \text{ total} = 59.762 \times 0.02024 = 1.2095 \text{ mho}$   
 $IR = \frac{P}{VR \sqrt{3} \cos \phi} \quad (4.11)$   
 $I_R = 162.99 \times 10^6 / (165.7 \times 10^3) \times 0.5 \times 1.732$

$= 162.99 \times 10^6 / 143,496.2 = 1,135.85 \text{ A}$  sudut  $(-59.885)^\circ$   
 Arus Charging  $I_c = jXL \times V_R = j0.15732 \times 165.7 \times 10^3 = j26,067.92 \text{ A}$   
 $I_c = j2 \text{ f} V_R C \quad (4.12)$   
 maka Cnya adalah  $j26,067.92 / j2 \times 3.14 \times 50 \times 165.7 \times 10^3 = j26,067.92 / j52,029,800 = 5.0 \times 10^{-4} \text{ F}$   
 Dengan menggunakan analisa saluran transmisi jarak menengah metode T nominal :  
 $Z = 0.03198 + j0.15732$  diubah ke bentuk polar :  
 $r = \sqrt{(0.03198)^2 + (0.15732)^2} = 0.16$   
 sudutnya  $= \tan^{-1} \frac{0.15732}{0.03198} = \tan^{-1} 4.919 = 78.51$   
 $A = 1 + \frac{ZxY}{Z} \quad (4.13)$   
 $A = 1 + \frac{(0.03198 + j0.15732) \times (j1.2095)}{0.16} =$

$$A = 1 + (j0.0195) - (0.095) = 0.905 + j0.0195$$

A diubah ke bilangan Polar menjadi :

$$r = \sqrt{(0.905)^2 + (0.0195)^2} = \sqrt{0.82} = 0.9$$

$$\text{sudutnya} = \tan^{-1} \frac{0.0195}{0.905} = \tan^{-1} 0.02 = 1.15^\circ$$

$$B = Z + \frac{Z^2 \times Y}{4} \quad (4.14)$$

$$Z^2 = Z \times Z = ((0.03198 + j0.15732) ) \times (0.03198 + j0.15732) = (0.001 + j0.005 + j0.005 - 0.025) = -0.024 + j 0.01$$

$$B = (0.03198 + j0.15732) + (((-0.024 + j 0.01) \times j1.2095) / 4) = 0.029 + j0.15$$

B diubah ke bilangan polar menjadi :

$$r = \sqrt{(0.029)^2 + (0.15)^2} = \sqrt{0.023} = 0.15$$

$$\text{sudutnya} = \tan^{-1} \frac{0.15}{0.029} = \tan^{-1} 5.17 = 79.05^\circ$$

$$V_s = A V_R + B I_R \quad (4.15)$$

$$V_s = (0.9 \text{ sudut } 1.15^\circ) \times (165.7 \times 10^3 \text{ sudut } 0) + (0.15 \text{ sudut } 79.05^\circ) \times (1,135.85 \text{ A sudut } (-59.885^\circ))$$

$$= (149130 \text{ sudut } 1.15) + (170.38 \text{ sudut } 19.17)$$

Vs diubah ke bilangan rektanguler menjadi :

$$A V_R = (149130 \text{ sudut } 1.15) \text{ dimana :}$$

$$r \cos 1.15 = 149130 \times 0.99 = 149099.96$$

$$r \sin 1.15 = 149130 \times 0.02 = j2993$$

$$B I_R = (170.38 \text{ sudut } 19.17) =$$

$$r \cos 19.17 = 170.38 \times 0.94 = 160.16$$

$$r \sin 19.17 = 170.38 \times 0.33 = j56.23$$

$$V_s = 149260 + j3049.23$$

Vs diubah ke bentuk polar menjadi :

$$r = \sqrt{(149260)^2 + (3049.23)^2} = 149291.14 \text{ V}$$

$$\text{sudutnya} = \tan^{-1} \frac{3049.23}{149260} = \tan^{-1} 0.02 = 1.15^\circ$$

$$I_s = Y V_R + A I_R \quad (4.16)$$

$$I_s = j1.2095 \times (165.7 \times 10^3 \text{ sudut } 0) + (0.9 \text{ sudut } 1.15^\circ) \times 1,135.85 \text{ A sudut } (-59.885^\circ)$$

$$= j200414.15 + (1022.3 \text{ sudut } -58.74) =$$

$$j2,808.3 + \text{rektangulernya } A I_R \text{ (} r \cos -58.74 = 1022.3 \times 0.52 = -530.49$$

$$r \sin -58.74 = 1022.3 \times 0.85 = j -873.88)$$

$$I_s = -530.49 + j1934.42$$

Is diubah ke polar menjadi :

$$r = \sqrt{(-530.49)^2 + (1934.42)^2} = 2005.84 \text{ A}$$

$$\text{sudutnya} = \tan^{-1} \frac{1934.42}{-530.49} = \tan^{-1} -3.65 = -74.68^\circ$$

$$s = I_s + V_s \quad (4.17)$$

$$s = -74.68^\circ + 1.15^\circ = -73.53$$

$$Pfs = \cos -73.53 = 0.28$$

$$P_s = \sqrt{3} \times V_s \times I_s \times \cos s \quad (4.18)$$

$$P_s = 1.732 \times 149291.14 \times 2005.84 \times 0.28 = 145223279.9 \text{ W atau sekitar } 145.22 \text{ MW dan}$$

$$Q_s = \sqrt{3} \times V_s \times I_s \times \sin \theta \quad (4.19)$$

$$Q_s = 1.732 \times 149291.14 \times 2005.84 \times 0.865 = 448636203.9 \text{ VAR atau } Q_s = 448.63 \text{ MVAR}$$

$$\text{Keperluan reaktor} = Q_s / 2 - 281 = (448.63 / 2) - 281 = 56.685 \text{ MVAR atau memakai } 60 \text{ MVAR}$$

perbandingan : karena reaktor yang akan dipasang pada GI Barabai sehingga daya fasa tiga

pada ujung kirim adalah :

$$V_s = 149291.14 < 1.15^\circ, V_R = 165.7 \times 10^3 < 0^\circ, D = 0.9 < 1.15^\circ, \text{ dan } B = 0.15 < 79.05^\circ$$

$$A = D$$

$$P_s = \frac{V_s V_R}{B} \cos(\beta + \delta) + \frac{D}{B} V_s^2 \cos(\beta - \Delta) \text{ MW}$$

$$P_s = \frac{(149291.14)(165.7 \times 10^3)}{0.15} \cos(79.05 + 0) + \frac{0.9}{0.15} 149291.14^2 \cos(79.05 - 1.15)$$

$$P_s = 1.646 \times 10^{12} \times 0.18 + 1.337 \times 10^{11} \times 0.2 = 0.296 \times 10^{10} + 0.2674 \times 10^{10} = 0.5635 \times 10^{10} \text{ W}$$

$$Q_s = \frac{V_s V_R}{B} \sin(\beta + \delta) + \frac{D}{B} V_s^2 \sin(\beta - \Delta) \text{ MVAR}$$

$$Q_s = 1.646 \times 10^{12} \times 0.98 + 1.337 \times 10^{11} \times 0.97 = 1.613 \times 10^{12} + 1.31 \times 10^{11} = 17.44 \times 10^{11} \text{ VAR}$$

$$V_s = V_R V_R + I_s Z = 165.7 \times 10^3 \text{ sudut } 0 + (2005.84 \text{ sudut } -74.68^\circ) \times (0.16 \text{ sudut } 78.51) = 165.8 \times 10^3 + 320.9 \text{ sudut } 3.83^\circ \text{ kemudian diubah menjadi bentuk rektanguler menjadi :}$$

$$V_R : 165.8 \times 10^3 \text{ sudut } 0^\circ$$

$$r \cos 0 = 165.8 \times 10^3 \times 1 = 165.8 \times 10^3$$

$$r \sin 0 = 165.8 \times 10^3 \times 0 = j0$$

$$I_s Z : 320.9 \text{ sudut } 3.83^\circ$$

$$r \cos 3.83^\circ = 320.9 \times (0.99) = 317.69$$

$$r \sin 3.83^\circ = 320.9 \times 0.068 = 21.82$$

$$\text{maka } V_s = 166017.69 + j21.82$$

diubah ke polar menjadi :

$$r = \sqrt{(166017.69)^2 + (21.82)^2}$$

$$r = \sqrt{27,561,873,870} = 166017.69 \text{ V}$$

$$\text{sudutnya} = \tan^{-1} \frac{21.82}{166017.69} = \tan^{-1} 1.3 \times 10^{-4} = 0^\circ$$

### Pengujian dan Analisis

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan :

Kenaikan Tegangan Terima ( $V_R$ ) : 165.7KV, pada sisi kirim setelah dilakukan perhitungan menjadi : Tegangan Kirim ( $V_s$ ) : 149291.14 V, dan sudutnya adalah :

$$\text{sudutnya} = \tan^{-1} \frac{3049.23}{149260} = \tan^{-1} 0.02 = 1.15^\circ,$$

hasil perhitungan saluran system :

$I_s Z$  : 320.9V sudut  $3.83^\circ$ , dan daya system keseluruhan mengalami kenaikan sebesar :

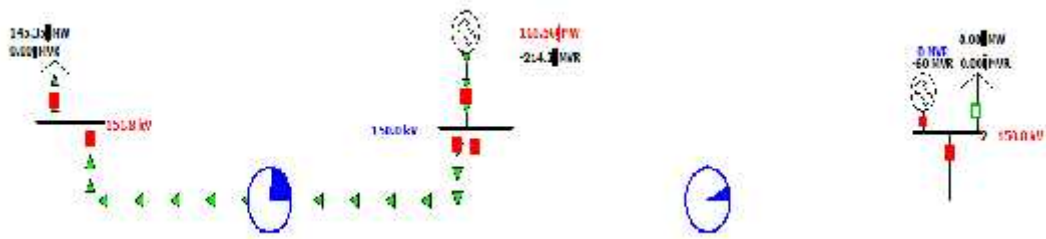
$P_s$  : 162.99MW, tegangan reaktifnya adalah :

$Q_s$  : 448.63MVAR

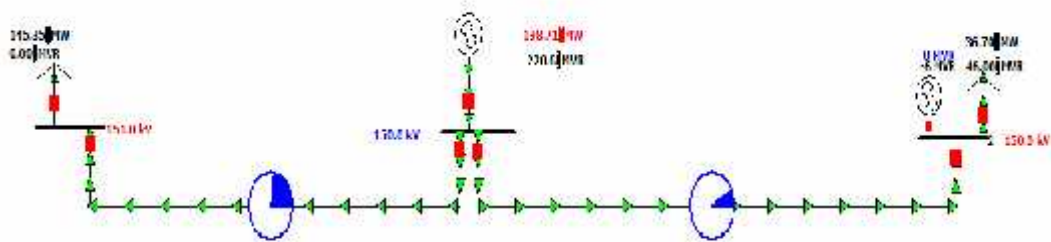
Sedangkan pada kenyataannya dapat dilihat dalam gambar 9, maka dalam saluran harus dipasang reaktor untuk mengkompensasi kenaikan tegangan sebesar :

$$\text{Keperluan reaktor} = Q_s / 2 - 281 = (448.63 / 2) - 281 = 56.685 \text{ MVAR atau memakai daya } 60 \text{ MVAR}$$

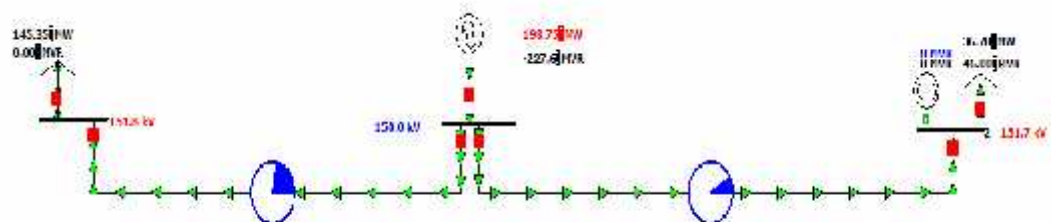
Maka pada system harus dipasang Reaktor Shunt untuk mengkonversi kenaikan tegangan yang dapat membahayakan system secara keseluruhan. Pada data diatas daya reaktif saluran adalah 281 MVAR dan daya aktifnya 162.99 MW setelah ditambahkan reaktor sebesar 60 MVAR maka Tegangannya mengalami penurunan sebesar 150KV lalu saluran keseluruhannya mengalami keseimbangan.



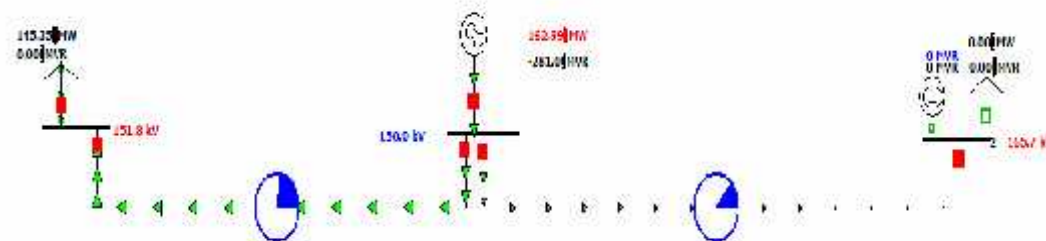
Gambar 6. Saat Reaktor Bekerja menyetabilkan Tegangan



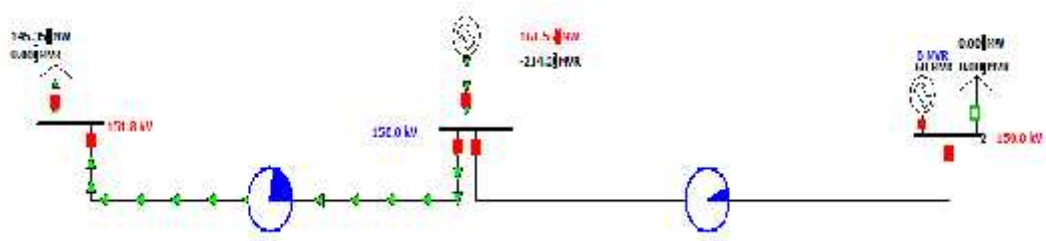
Gambar 7. Saat Gangguan Teratasi (pada saat beban kembali kesistem)



Gambar 8. Reaktor Dilepaskan dari system (pada saat reactor lepas dari sistem)



Gambar 9. Kenaikan Tegangan Akibat Gangguan



Gambar 10. Saluran yang seimbang (system mengalami perbaikan)

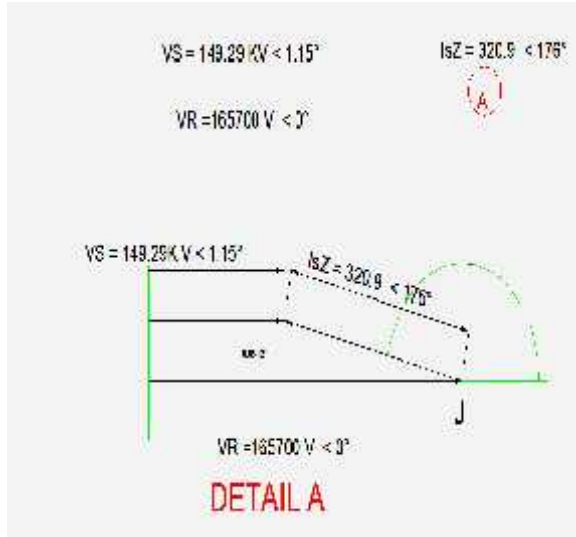
Tabel 2. Perbandingan Hasil Perhitungan saat Gangguan dan Hasil Pemasangan

| Parameter | Perhitungan | Pemasangan |
|-----------|-------------|------------|
| P         | 162.99MW    | 162.99MW   |
| Q         | 56.685 MVAR | 60MVAR     |
| V         | 165.7KV     | 150000V    |

### Reaktor

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan di atas didapatkan bahwa minimal besar kapasitas reactor yang dibutuhkan agar system seimbang adalah minimal 60MVAR, dan karenanya maka dipilihlah kapasitas reactor 60 MVAR

Dari data perhitungan tersebut didapat gambar vector :



Gambar 11. Diagram vector

#### 4. PENUTUP

##### Kesimpulan

Analisa dan pengujian maka hasil penelitian ini dapat disimpulkan :

1. Kapasitas reaktor yang digunakan 60 MVAR
2. Dengan menggunakan reaktor shunt, Tegangan transmisi dapat dipertahankan konstan dari 165,7 KV menjadi 150 KV

##### Saran

Dimasa yang akan datang keperluan penggunaan reaktor dapat dikaji ulang kembali.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

1. Arismunandar, A, Kuahara, S, (1993), *Teknik Tenaga Listrik, Jilid 2*, PT. Dainippon Gitakarya Printing, Jakarta
2. Badan Standarisasi Nasional. (2000). *Peraturan Umum Instalasi Listrik 2000*. Jakarta. Yayasan PUIL
3. Dorf, C. Richad dan James A. Svoboda. (1996). *Introductionn to Electric Circuit*, 3<sup>rd</sup> edition John Wiley & Sons. Singapore
4. G.W. Stagg and A.H. El Abiad, (1963) *Computer Methods In Power System Analysis*, Mc. Graw Hill, Newyork
5. Imran,H. dan Abdul, K . (1992). *Pengantar Energi Listrik*. Jakarta. LP3ES
6. Johnson , David. E, (1997), *Electic Circuit Analysis*, Prentice-Hall, London
7. Setiawan, A. dan Heryanto, (1980). *Pengaman instalasi listrik*. Medan. Universitas Sumatera Utara
8. Smith, Ralph J, (1984), *Circuit Devices and System*, John Willey & Sons, Singapore
9. SS Vadhera,(1991), *Power System analysis abd Stability*, Khama Publisher Delhi, New Delhi.
10. William D. Stevenson, Jr, (1990), *Analisis Sistem Tenaga Listrik* , Penerbit Erlangga, Jakarta