

## PENGARUH REGULATOR TEGANGAN TERHADAP PERBAIKAN TEGANGAN PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20 KV PENYULANG PURWODADI 10

oleh:

Nama : Kasyanto

NIM : L2F303512

***Abstrak** - Dengan semakin pesatnya kemajuan teknologi, semakin berkembang pula kebutuhan daya listrik pada masyarakat baik yang tinggal di pedesaan dan perkotaan dan hal ini dapat berdampak kepada mutu tegangan pelayanan yang nilainya dibawah standar pelayanan yang ditentukan.*

*Faktor yang mempengaruhi sehingga masalah tegangan ini dianggap lebih penting dibanding dengan kualitas listrik yang lain adalah dampak tegangan yang tidak memenuhi standar akan merugikan kedua belah pihak ,baik penyedia maupun pemakai tenaga listrik bahkan juga produsen alat listrik.*

*Tulisan ini merupakan analisis tentang kualitas tegangan pelayanan pada jaringan tegangan menengah 20 KV yang dicatu dari penyulang Purwodadi 10 atau yang biasa disebut PWI 10 Gardu Induk 150/20 KV dan usaha untuk memperbaiki kualitas tegangan pelayanan tersebut sehingga memenuhi standar pelayanan.*

### I. PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Karena berbagai persoalan teknis, tenaga listrik hanya dibangkitkan pada tempat-tempat tertentu saja. Sedangkan pemakai tenaga listrik atau pelanggan tenaga listrik tersebar di berbagai tempat. Maka penyampaian tenaga listrik dari tempat dibangkitkan sampai ke tempat pelanggan memerlukan berbagai penanganan teknis.

Tenaga listrik yang dibangkitkan dalam pusat-pusat listrik seperti Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA), Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pusat Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) dan Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD) serta Pusat Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU), kemudian disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator penaik tegangan yang ada di pusat listrik.

Pada umumnya transmisi dengan tegangan 500 kV disebut sebagai saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET), sedangkan transmisi dengan tegangan 150 kV disebut sebagai saluran udara tegangan tinggi (SUTT).

Pada Gardu Induk tegangan transmisi tersebut diturunkan menjadi tegangan menengah distribusi, yang nilai tegangannya dipilih tegangan 20 kV yang biasa disebut sebagai saluran udara tegangan menengah (SUTM) atau tegangan distribusi.

Pada tempat tertentu tegangan menengah distribusi tersebut dengan menggunakan transformator distribusi diturunkan lagi menjadi tegangan rendah distribusi yang nilai tegangannya dipilih sebesar 220 volt .

Saluran untuk menyampaikan energi listrik ada yang berupa saluran udara dan ada pula yang berupa saluran kabel tanah.

Sarana yang dipakai untuk menyampaikan tenaga listrik tersebut, juga menggunakan daya yang merupakan rugi-rugi daya atau rugi-rugi teknis.

Rugi-rugi daya dapat disebabkan oleh adanya resistansi pada penghantar dan resistansi pada transformator, atau kalau lebih lengkapnya adalah adanya impedansi dari peralatan penyalur tenaga listrik tersebut.

Rugi-rugi daya yang dinyatakan dalam satuan watt, merupakan perkalian kuadrat arus dengan impedansi dari

peralatan listrik yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik.

Sehingga semakin besar arus yang dilewatkannya, rugi-rugi daya juga akan semakin besar, namun demikian besar arus yang lewat penghantar tersebut dibatasi oleh kemampuan hantar arus sesuai dengan spesifikasi penghantar.

Dengan adanya impedansi pada saluran, maka tegangan juga akan susut, dimana tegangan yang dinyatakan dalam volt, merupakan perkalian arus dengan impedansi peralatan penyaluran tenaga listrik. Semakin besar harga resistansi dari penghantar, akan semakin besar susut tegangan.

Dalam tugas akhir ini hendak dianalisa pemakaian pengatur tegangan dalam upaya perbaikan tegangan jaringan tegangan menengah 20 kV pada penyulang PWI 10 Gardu Induk 150/20 KV Purwodadi.

#### Tujuan

Tujuan pembuatan tugas akhir ini adalah untuk menganalisa pemakaian regulator tegangan dalam rangka perbaikan kualitas tegangan pada jaringan tegangan menengah 20 KV.

#### Pembatasan Masalah

Dalam tugas akhir ini masalah yang hendak dibahas dibatasi sebagai berikut:

1. Hanya membahas tentang kondisi pelayanan listrik yang diberi catu tegangan dari penyulang PWI 10 Gardu Induk 150/20 KV Purwodadi.
2. Analisa yang dilakukan dalam rangka perencanaan pemakaian regulator tegangan menengah pada penyulang PWI 10 yang dilayani dari Gardu Induk 150/20 KV Purwodadi.
3. Analisa perbaikan tegangan dengan metode lain tidak dibahas.

### II. SISTEM TENAGA LISTRIK

#### 2.1. Sistem Jaringan Distribusi.

Sistem jaringan distribusi yang ada bila dikelompokkan terdiri dari empat kelompok, yaitu :

**2.1.1. Jaringan radial.**

Jaringan radial dengan cabang-cabangnya yang dapat dipasok dari satu tempat. Jaringan ini umumnya merupakan saluran udara tegangan menengah (SUTM).

**2.1.2. Jaringan hantaran penghubung (Tie Line).**

Jaringan ini pada umumnya merupakan jaringan SUTM. Pengoperasian sistem ini pada umumnya dengan membuka suatu titik, sehingga jaringan distribusi ini tidak menginterkoneksi antar gardu induk.

**2.1.3. Jaringan lingkaran (loop).**

Jaringan loop pada hakekatnya merupakan jaringan radial dengan cabang-cabangnya yang dapat dipasok dari satu pusat listrik, tetapi oleh dua penyulang seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.3., dan pada umumnya merupakan jaringan SUTM.

**2.1.4. Jaringan Spindel**

Jaringan spindel adalah jaringan yang merupakan kabel tanah tegangan menengah atau SKTM, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.4 dan Gambar 2.5., adalah merupakan spindel lengkap yang dipasok dari 2 gardu induk. Operasi sistem spindel adalah sebagai berikut :

**2.1.5. Sistem gugus atau sistem kluster.**

Sistem ini merupakan variasi sistem spindel, bentuk sistem ini menyerupai sistem spindel. Tetapi sistem ini tidak mempunyai gardu hubungan khusus, tetapi kabel ekspres dimanfaatkan sebagai gardu hubung.

**2.2. Daya**

Daya listrik adalah besarnya energi listrik yang dapat dipindahkan dalam satu satuan waktu. Daya listrik dalam sistem arus bolak-balik sinusoidal dapat dirumuskan sebagai berikut;

Tegangan sesaat =  $v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_v)$  .....2.1

Arus sesaat =  $i(t) = I_m \sin(\omega t + \theta_i)$  .....2.2

Daya sesaat ,

$p(t) = v(t) \times i(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_v) \times I_m \sin(\omega t + \theta_i)$  .....2.3

Sesuai rumus dalam trigonometri

$\cos A \cos B = \frac{1}{2} \cos(A-B) + \frac{1}{2} \cos(A+B)$

maka didapatkan ;

$p(t) = \frac{1}{2} \cdot V_m \cdot I_m \{ \cos(\theta_v - \theta_i) + \cos(2\omega t + \theta_v + \theta_i) \}$

$p(t) = \frac{1}{2} \cdot V_m \cdot I_m \{ \cos(\theta_v - \theta_i) + \cos[2(\omega t + \theta_v) - (\theta_v - \theta_i)] \}$

$p(t) = \frac{1}{2} \cdot V_m \cdot I_m \{ \cos(\theta_v - \theta_i) + \cos 2(\omega t + \theta_v) \cos(\theta_v - \theta_i) + \sin 2(\omega t + \theta_v) \sin(\theta_v - \theta_i) \}$  .....2.5

Tegangan rata-rata untuk arus bolak balik sinusoidal =

$[V] = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$  .....2.6

Arus rata-rata untuk arus bolak balik sinusoidal =

$[I] = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$  .....2.7

Bila  $(\theta_v - \theta_i) = \theta$  maka,

$p(t) = [V].[I].\cos \theta [1 + \cos 2(\omega t + \theta_v)] + [V].[I].\sin \theta .\sin 2(\omega t + \theta_v)$  .....2.8

**2.2.1 Daya semu**

Dari persamaan 2.1 diatas yang dimaksudkan daya semu dalam sistem tenaga listrik bolak-balik di rumuskan sebagai ,

$S = |V||I|$  .....2.9

Untuk sistem tiga fasa yang seimbang atau simetris, daya semu sering dituliskan :

$S = 3 |V||I|$  .....2.10

Bentuk yang umum di kenal dari persamaan daya semu untuk sistem tiga fasa yang seimbang adalah :

$S = \sqrt{3} \cdot |V_L||I_L|$  .....2.11

dimana :

$V_L$  = tegangan efektif fasa ke fasa

$I_L$  = arus fasa efektif

**2.2.2. Daya aktif**

Dari persamaan

$p(t) = [V].[I].\cos \theta [1 + \cos 2(\omega t + \theta_v)] + [V].[I].\sin \theta .\sin 2(\omega t + \theta_v)$  .....2.12

yang dimaksudkan dengan daya aktif = P = dalam sistem tenaga listrik arus bolak-balik, dijabarkan dari komponen 1 dari persamaan tersebut sebagai berikut :

$P = [V].[I].\cos \theta [1 + \cos 2(\omega t + \theta_v)]$  .....2.13

$P = [V].[I].\cos \theta + [V].[I].\cos \theta . \cos 2(\omega t + \theta_v)$  .....2.14

Untuk beban resistif murni dimana komponen 2 dari persamaan 2.5 = 0 maka,

$[V].[I].\cos \theta . \cos 2(\omega t + \theta_v) = 0$

Bila gelombang tegangan dan arus berbentuk sinusoidal murni, maka :  $P = [V].[I].\cos \theta$  .....2.15

Untuk system 3 fase maka  $P = \sqrt{3} \cdot [V][I]\cos \phi$ ...2.16

**2.2.3 Daya reaktif**

Dari persamaan 2.12

$p(t) = [V].[I].\cos \theta [1 + \cos 2(\omega t + \theta_v)] + [V].[I].\sin \theta .\sin 2(\omega t + \theta_v)$

Yang dimaksudkan dengan daya reaktif =  $Q$  = dalam sistem tenaga listrik arus bolak-balik, dijabarkan dari komponen 2 dari persamaan tersebut sebagai berikut :

$$[V] \cdot [I] \cdot \sin \theta \cdot \sin 2(\omega t + \theta_v) \dots\dots\dots 2.17$$

Untuk  $(\omega t + \theta_v) > 0$ , arus mengikuti tegangan sehingga daya reaktif bersifat induktif.

Untuk  $(\omega t + \theta_v) < 0$ , arus mendahului tegangan sehingga daya reaktif bersifat kapasitif.

$$Q = |V| |I| \sin \theta \dots\dots\dots 2.18$$

Dalam sistem tiga fasa yang seimbang, besarnya daya reaktif ( $Q$ ) adalah :

$$Q = \sqrt{3} |V| |I| \sin \theta \dots\dots\dots 2.19$$

Daya reaktif terutama daya reaktif induktif (*lagging VAR*) diperlukan untuk memberikan arus magnetisasi pada transformator ataupun motor induksi<sup>[6]</sup>.

### 2.3. Faktor daya

Faktor daya adalah perbandingan antara daya nyata dalam satuan watt dan daya reaktif dalam satuan Volt Ampere Reaktif (VAR) dari daya yang disalurkan oleh pusat-pusat pembangkit ke beban. Nilai faktor daya ini mempengaruhi jumlah arus yang mengalir pada saluran untuk suatu beban yang sama. Faktor daya salah satunya disebabkan oleh penggunaan peralatan pada pelanggan yang menyimpang dari syarat-syarat penyambungan yang telah ditetapkan, dapat mengakibatkan pengaruh balik terhadap saluran, antara lain faktor daya yang rendah dan ketidakseimbangan beban.

Rendahnya faktor daya disebabkan karena melebarnya sudut fasa antara arus dan tegangan. Faktor daya yang terlalu rendah mengakibatkan rugi yang sangat besar pada saluran. Pergeseran sudut fasa antara arus dan tegangan ditentukan oleh sifat impedansi beban (resistif, induktif, kapasitif) yang dihubungkan dengan sumber arus bolak-balik tersebut. Apabila beban mempunyai impedansi yang bersifat resistif, maka arus dan tegangan sefasa atau besarnya pergeseran sudut fasa sama dengan nol. Dengan demikian faktor daya sama dengan satu (unity power factor).

Impedansi beban bersifat induktif, maka vektor arus ( $I$ ) terbelakang dari vektor tegangan ( $V$ ), kondisi tersebut disebut faktor daya tertinggal (*lagging power factor*). Sedangkan untuk impedansi beban yang bersifat kapasitif, vektor arus ( $I$ ) mendahului vektor tegangan ( $V$ ), keadaan tersebut dinamakan faktor daya mendahului (*leading power factor*).

### 2.4. Frekuensi

Stabilitas dan efisiensi sistem pembangkitan tenaga listrik akan tercapai bilamana energi yang dibangkitkan sama dengan energi yang dibutuhkan oleh pelanggan, dan rugi pada sistem jaring penyaluran energi listrik tersebut. Salah satu indikator kestabilan ditunjukkan dengan nilai frekuensi pada saluran distribusi. Stabilitas suatu nilai

frekuensi dipengaruhi oleh besarnya perubahan beban dan atau perubahan daya yang dibangkitkan oleh sistem pembangkit.

Perubahan nilai frekuensi pada saluran listrik sangat mempengaruhi unjuk kerja dari peralatan-peralatan pada pelanggan.

Nilai patokan frekuensi di Indonesia ditetapkan 50 Hz, dan penyimpangan frekuensi yang diperkenankan paling tinggi adalah  $\pm 3\%$  (48,5 sampai dengan 51,5 Hz).

Penyimpangan nilai tersebut di ijin maksimal selama 10 menit, bilamana waktu tersebut terlampaui, maka akan dilaksanakan pemadaman sebagian yang diatur oleh pusat pengatur beban.

## 2.5. Rugi-rugi sistem distribusi

### 2.5.1. Rugi-rugi transformator

Rugi-rugi transformator terdiri dari rugi-rugi inti dan rugi-rugi tembaga.

Rugi-rugi tembaga disebabkan oleh perubahan arus beban, sedangkan rugi-rugi inti disebabkan oleh fluksi pada inti.

Rugi-rugi inti dapat dikelompokkan dalam dua bagian yaitu rugi histerisis dan rugi karena arus pusar. Sumber rugi yang lain adalah kerugian dielektrik pada isolasi, tetapi biasanya kerugian ini kecil dan dapat diabaikan.

#### Efisiensi transformator

Efisiensi transformator pada umumnya dihitung berdasarkan daya keluar dibagi dengan daya masuk, atau dalam bentuk persamaan adalah ;

$$\eta = P_o / P_i \dots\dots\dots 2.20$$

Pada umumnya pabrikan transformator sudah menentukan efisiensi dari transformator yang dijualnya, yaitu sekitar 99%. Sehingga rugi daya transformator untuk segala beban adalah 1% dari beban yang ditanggungnya.

### 2.5.3. Rugi-rugi jaringan

Jatuh tegangan merupakan penurunan tegangan di mulai dari penyulang sampai sepanjang saluran jaringan tegangan menengah 20 kV. Fenomena tersebut disebabkan kawat saluran yang mempunyai nilai resistan, induktan dan kapasitan sepanjang saluran, maka akan terjadi penurunan tegangan. Sedangkan rugi daya adalah selisih antara daya yang dibangkitkan atau dialirkan dari Gardu Induk dengan daya yang terjual ke pelanggan listrik. Rugi-rugi daya merupakan sifat yang tidak dapat dihindari, tetapi hanya dapat diminimalkan.

Nilai dari rugi daya pada jaring merupakan nilai unjuk kerja jaring listrik dalam menyalurkan energi listrik dari pusat-pusat pembangkit sampai ke pusat-pusat beban.

Susut tegangan pada sistem distribusi tegangan menengah sangat dipengaruhi oleh tingkat pembebanan, penampang konduktor, rugi-rugi transformator dan rugi-rugi kontak sambungan pada jaringan tersebut.

#### 2.5.3.1. Penghantar

Penghantar berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit atau gardu induk pada satu tempat ketempat lainnya.

Karena pada penyaluran tenaga listrik akan timbul rugi tegangan, besarnya kerugian tersebut tergantung dari jenis penghantar, luas penampang kawat dan panjang saluran yang digunakan.

Untuk mengurangi rugi tegangan yang ditimbulkan oleh resistansi penghantar, perlu diperhatikan dalam pemilihan jenis penghantar sebagai penyalur tenaga listrik.

Untuk pemilihan penghantar yang akan digunakan pada saluran transmisi maupun distribusi harus memperhatikan beberapa faktor antara lain :

- Daya hantar dari penghantar.
- Besar / penampang penghantar
- Resistansi penghantar per satuan panjang.
- Kuat tarik
- Ekonomis

Bahan dasar yang digunakan untuk pembuatan penghantar adalah :

- Tembaga
- Alluminium
- Campuran logam di atas dengan logam lain.

Dalam pemilihan penghantar dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain

- Daya yang akan disalurkan
- Beban hubung singkat,
- Keadaan lingkungan, Keadaan ekonomi dan ketahanan

Macam penghantar telanjang yang digunakan dalam sistem jaringan tegangan menengah antara lain :

- AAC (All Alluminium Conductor), merupakan jenis penghantar yang terbuat dari alluminium murni.
- AAAC (All Alluminium Alloy Conductor), merupakan penghantar yang terbuat dari bahan alluminium campuran, penghantar ini mempunyai kekuatan mekanis yang lebih baik dari penghantar AAC.
- ACSR (Alluminium Conductor Steel Reinforced), adalah penghantar yang mempergunakan dua jenis logam yaitu alluminium dan baja sebagai penguat.

### 2.5.3.2. Impedansi saluran

Pada dasarnya jatuh tegangan pada jaringan distribusi adalah sebagai akibat dari impedansi seluruh jaringan itu sendiri. Impedansi jaringan tersebut besarnya dipengaruhi oleh hambatan (resistansi) serta reaktannya, karena impedansi  $Z = R + jX_L$  .....2.21

Dimana;

- R = resistansi kawat penghantar  
 L = induktansi  
 $V_L$  = tegangan pada beban  
 $V_{sumber}$  = tegangan sumber  
 $R + jX_L$  = impedansi saluran

### 2.5.3.3. Macam rugi-rugi daya

Macam rugi-rugi daya dapat dibedakan menjadi :

- Rugi-rugi teknis, adalah energi yang hilang sebagai panas di sepanjang penghantar pada jaring, transformator serta peralatan lain pada jaring yang mengandung unsur resistif dan reaktif.
- Rugi-rugi non teknis, adalah energi yang hilang karena pencurian listrik, kesalahan pembacaan alat ukur, jaringan tersentuh pohon dan karena kesalahan administrasi.

### 2.5.3.4. Susut tegangan ( jatuh tegangan ).

Susut tegangan atau yang biasa disebut jatuh tegangan adalah besarnya tegangan yang diakibatkan oleh arus yang mengalir pada suatu media yang mempunyai impedansi..

Untuk sistem arus searah, besarnya susut tegangan sama dengan arus dikalikan resistansi hantaran tersebut, sedangkan pada saluran arus bolak-balik besarnya susut tegangan merupakan fungsi dari arus beban dan cosinus sudut impedansi dari beban.

Pada jaring distribusi primer, susut tegangan dan rugi daya sebagian besar terjadi di saluran dan transformator. Oleh karena itu dalam perencanaan sistem harus di pilih saluran dan transformator yang bisa menghantarkan arus beban tanpa menyebabkan susut tegangan yang berlebihan dan dengan temperatur/suhu yang aman.

### 2.5.3.5. Faktor penyebab susut tegangan.

Faktor penyebab susut tegangan dan rugi daya pada jaring distribusi 20 kV sangat dipengaruhi oleh jenis material, peralatan maupun kontruksi jaringan tersebut.

Unjuk kerja yang diharapkan dari jaring distribusi adalah bilamana jaring tersebut mempunyai kontinuitas penyaluran tenaga listrik maupun tingkat keandalan yang tinggi, rugi daya dan susut tegangan yang minimal.

Untuk memenuhi kriteria tersebut, harus diperhatikan beberapa faktor penyebab susut tegangan dan rugi daya pada jaring distribusi yang antara lain adalah tegangan sistem, frekuensi, faktor daya beban ( $\cos \phi$ ), faktor beban dan keandalan.

### 2.5.3.6. Standar mutu tegangan pelayanan

Standar mutu pelayanan adalah merupakan suatu standar yang dibuat oleh perusahaan jasa ketenagalistrikan yang merupakan salah satu sasaran perusahaan sehingga dapat dipakai sebagai pedoman untuk menyusun strategi pencapaiannya.

### 2.5.3.7. Standar susut tegangan

Selain Level Tegangan dan Beda Tegangan, dalam perusahaan tenaga listrik dikenal adanya Standar Susut Tegangan.

Pada standar ini besarnya susut tegangan yang diijinkan, diperinci untuk beberapa peralatan sistem tenaga listrik. Dengan demikian perusahaan jasa ketenagalistrikan dapat mengambil langkah yang tepat dan apa yang harus dilaksanakan pada beberapa peralatan yang berbeda tersebut

agar susut tegangan yang merupakan salah satu penyebab kehilangan kesempatan penjualan penjualan energi listrik dapat ditekan sekecil mungkin.

**2.6. Usaha memperbaiki tegangan.**

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 memperbaiki tegangan yang harus dilakukan untuk memperkecil jatuh tegangan dan rugi daya adalah :

**2.6.1. Membangun pembangkit pengatur tegangan.**

Dalam sistem tenaga listrik yang dilayani langsung oleh sumber pembangkit, maka penurunan tegangan secara mudah dapat diatasi dengan mengatur eksitasi generator.

Dalam praktek banyak terjadi bahwa pada suatu sistem yang mempunyai jaringan distribusi yang sangat panjang akan mengakibatkan tegangan pada ujung penerima mengalami penurunan yang cukup rendah dibawah standar.

Hal ini dapat diatasi dengan jalan membangun suatu pembangkit baru pada daerah dimana tegangan sudah dibawah standar pelayanan.

Namun demikian perlu dipertimbangkan dari segi daya guna dan hasil guna, mengingat bahwa investasi suatu pembangkit sangat mahal. Pertimbangan teknis antara lain kurva pendapatan operasi dan kecuraman perbedaan tegangan siang dan malam.

**2.6.2. Membangun Gardu Induk baru atau Jaringan baru.**

Metode perbaikan tegangan dengan cara membangun gardu induk ataupun penyulang baru ini pada dasarnya sama dengan memindahkan beban ke sumber yang baru.

Dengan penambahan jaringan baru maka kemampuan penyaluran arus akan lebih besar, sehingga susut tegangan dapat diperkecil.

**2.6.3. Merubah Jaringan 1Ø menjadi 3Ø.**

Perbandingan susut tegangan antara sistem satu fasa menjadi tiga fasa adalah dengan persamaan berikut :

$$VD_{(1\phi)} = 2 \cdot I_{(1\phi)} \cdot |Z| \dots\dots\dots 2.22$$

$$\% VD_{(1\phi)} = \frac{2 \cdot I_{(1\phi)} \cdot |Z|}{E} (100) \dots\dots\dots 2.23$$

$$VD_{(3\phi)} = I_{(3\phi)} \cdot |Z| \dots\dots\dots 2.24$$

$$\% VD_{(3\phi)} = \frac{I_{(3\phi)} \cdot |Z|}{E} (100) \dots\dots\dots 2.25$$

dimana :

- VD = susut tegangan per satuan panjang
- I = arus pada saluran
- Z = impedansi saluran per satuan panjang
- E = tegangan fasa ke neral

Dalam sistem seimbang  $I_{3\phi} = \frac{I_{1\phi}}{3}$

Porsentase susut tegangan antara pelayanan dengan sistem satu fasa dibanding dengan pelayanan sistem tiga fasa adalah :

$$\frac{\% VD_{(1\phi)}}{\% VD_{(3\phi)}} = \frac{\frac{2 \cdot I_{(1\phi)} \cdot |Z|}{E} (100)}{\frac{I_{(3\phi)} \cdot |Z|}{E} (100)} = \frac{2 \cdot I_{(1\phi)}}{I_{(3\phi)}} = \frac{2 \cdot I_{(1\phi)}}{\frac{I_{(1\phi)}}{3}} = 6 \dots\dots 2.26$$

**2.6.4. Pemindahan beban ke penyulang lain**

Memindahkan beban ke penyulang lain berarti mengurangi arus yang mengalir sehingga susut tegangan akan menjadi lebih kecil.

Tujuan utama pemindahan beban ini tidak merupakan perbaikan tegangan namun lebih diutamakan untuk peningkatan keandalan pertimbangan pembebanan transformator gardu induk atau pertimbangan karena adanya pertumbuhan beban.

**2.6.5. Penyeimbangan beban**

Pengaruh beban yang tidak seimbang pada masing-masing fasa sangat besar, karena untuk kondisi tersebut pada hantaran netral mengalir arus yang nilainya tidak terukur dan sangat merugikan dalam sistem perusahaan.

Pada fasa yang berbeban berat, nilai jatuh tegangan akan lebih besar dibandingkan dengan fasa yang berbeban ringan.

Untuk memperkecil nilai rugi tersebut selalu di upayakan langkah-langkah pengukuran beban secara real time, terutama pada saat beban puncak, untuk daa pelaksanaan pemerataan beban.

Dengan keseimbangan beban maka dapat dihasilkan ;

- a. Arus pada setiap fasa akan mendekati harga yang sama.
- b. Susut tegangan masing-masing fasa akan mendekati sama.

**2.6.6. Memperbesar tegangan kirim**

Untuk nilai impedansi saluran yang tetap, maka memperbesar tegangan kirim akan memberikan dampak kepada ujung tegangan penerima menjadi lebih besar, sehingga regulasi tegangan menjadi lebih baik.

**2.6.7. Memperbesar penampang hantaran**

Ukuran penampang hantaran berpengaruh terhadap besar kecilnya nilai jatuh tegangan maupun rugi daya yang terjadi. Oleh karena itu dalam perencanaan saluran distribusi harus diperhitungkan besar-kecilnya penampang hantaran yang akan dipasang, dan harus disesuaikan dengan pembebanan program jangka panjang.

Memperbesar penampang penghantar saluran berarti mengurangi besarnya nilai impedansi saluran tersebut. Sehingga untuk beban yang sama pada masing-masing fasa, nilai susut tegangannya akan menjadi semakin kecil. Hal diatas dinyatakan dalam perhitungan sebagai berikut ;

$$V_d = I \cdot |Z| \rightarrow Z = R + j(X_L - X_C)$$

$$R = \rho (L/O)$$

**2.6.8. Merubah sadapan transformator distribusi**

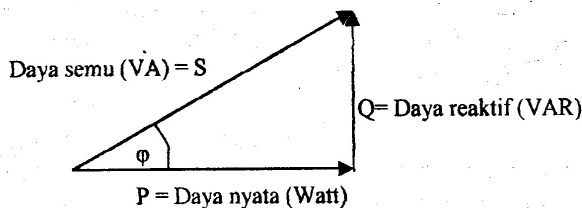
Metoda perbaikan tegangan dengan merubah tingkat sadapan pada transformator distribusi memerlukan perhatian tersendiri, terutama menyangkut hal-hal sebagai berikut :

- a. Berapa jumlah transformator yang harus dirubah sadapannya. Hal ini menyangkut efisiensi dalam pengadaan tenaga kerja .
- b. Posisi sadapan transformator sepanjang penyulang apakah pada posisi yang sama atau ada beberapa transformator yang berbeda. Hal ini memerlukan sistem pemantauan tersendiri agar tidak terjadi kesalahan dalam operasi.
- c. Berapa lama transformator tersebut akan beroperasi pada posisi sadapan yang baru. Hal ini menyangkut efisiensi tenaga maupun biaya yang dibutuhkan karena seringnya melaksanakan perubahan sadapan trafo.
- d. Bila transformator tersebut dicatu dari penyulang lain, maka perlu diperhatikan besarnya tegangan primer penyulang tersebut agar nilai tegangan sekundernya tidak berlebihan.

**2.6.9. Pemasangan kapasitor**

Daya reaktif adalah daya yang tidak menghasilkan kerja dan selalu tersimpan dalam sistem, yaitu dalam bentuk energi magnetis. Pada gambar segitiga daya seperti ditunjukkan dalam Gambar berikut memperlihatkan daya reaktif sangat berpengaruh terhadap faktor daya. Untuk daya reaktif yang berlebihan, maka faktor daya akan rendah sehingga mempengaruhi jatuh tegangan.

Oleh sebab itu diperlukan suatu sumber daya reaktif yang dapat membangkitkan daya reaktif atau dapat pula menyerap kelebihan daya reaktif yang diluar batas.



Segitiga daya

**2.6.9.1 Memasang kapasitor seri pada jaringan**

Pada dasarnya pemakaian kapasitor seri untuk memperbaiki tegangan pada jaringan tenaga listrik adalah berusaha mengurangi susut tegangan dengan cara mengkompensir komponen induktif yang terjadi pada jaringan tersebut.

Sebagaimana dinyatakan dalam butir 2.5.3.5. tentang susut tegangan, maka susut tegangan akibat impedansi jaringan dapat dinyatakan sebagai :

$$V_d = I(R_L \cos \phi + X_L \sin \phi) \dots\dots\dots 2.27$$

Dengan dipasang kapasitor seri, maka persamaannya menjadi sebagai berikut :

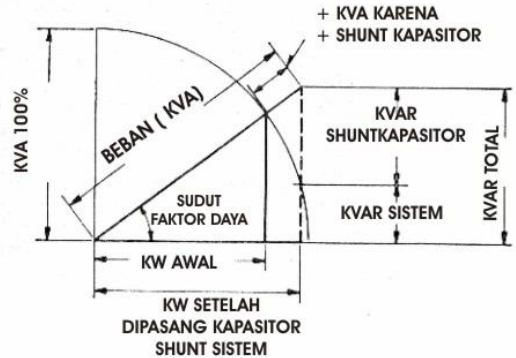
$$V_d = I R_L \cos \phi + I (X_L - X_C) \sin \phi \dots\dots\dots 2.28$$

Bila  $(X_L - X_C) = 0$ , maka besarnya susut tegangan hanya akan dipengaruhi tahanan saluran saja, sehingga nilainya akan lebih kecil daripada tanpa dipasang kapasitor.

Namun demikian perlu diperhatikan bahwa pemasangan kapasitor hanya bila beban bersifat induktif, artinya arus mengikuti tegangan.

**2.6.9.2 Memasang kapasitor shunt pada jaringan**

Dampak pemasangan Shunt kapasitor pada jaringan tenaga listrik ditunjukkan dalam gambar sebagai berikut;



Dari gambar ini dapat dinyatakan bahwa pemasangan shunt kapasitor akan dapat memberikan dampak sebagai berikut ;

- 1. Mengurangi komponen arus induktif yang bersifat mengikuti tegangan.
- 2. Menambah level tegangan pada sisi beban
- 3. Memperbaiki regulasi tegangan.
- 4. Mengurangi rugi rugi daya aktif =  $I^2.R$  dikarenakan berkurangnya arus.
- 5. Mengurangi rugi-rugi daya reaktif =  $I^2.X$  dikarenakan berkurangnya arus.
- 6. Menambah besarnya faktor daya pada sisi sumber.
- 7. Mengurangi beban KVA pada sumber.

Kapasitor shunt yang dipasang pada jaringan akan memperbaiki tegangan pada titik dimana kapasitor tersebut dipasang menuju kearah sisi sumber tegangan. Kapasitor menggambarkan adanya arus yang mendahului tegangan dan arus ini mengalir melalui reaktansi seri pada jaringan yang mengakibatkan adanya kenaikan tegangan pada titik pemasangan yang besarnya sama dengan reaktansi jaringan dikalikan arus kapasitor.

Prosentase kenaikan tegangan pada titik pemasangan :

$$\%V = \frac{(ckva)(d)(X)}{(10)(KV)^2} \dots\dots\dots 2.29$$

dimana :

- ckva = kapasitas kapasitor (KVA atau KVAR)
- d = panjang jaringan
- X = reaktansi jaringan pada satuan panjang jaringan

Bila kapasitor merupakan kapasitor satu fasa, maka perhitungan kenaikan tegangan adalah berdasarkan kapasitas kapasitor satu fasa.

Sedangkan tegangan sama dengan tegangan antara saluran fasa netral, dan reaktansinya sama dengan dua kali reaktansi saluran.

**2.6.10 Pengaturan tegangan penyulang menggunakan alat pengatur tegangan ( regulator tegangan ).**

Peralatan pengatur tegangan dirancang untuk menjaga secara otomatis suatu nilai tegangan tertentu yang akan bervariasi terhadap perubahan beban. Pada saat beban bertambah, peralatan pengatur tegangan akan memperbesar tegangan keluaran pada gardu induk untuk mengkompensasi bertambahnya jatuh tegangan pada saluran distribusi.

Dalam hal ini, pengaturan tegangan sangat diperlukan bagi pelanggan yang letaknya jauh dari gardu transformator atau lokasi rangkaian utama adalah diluar batas pengaturan.

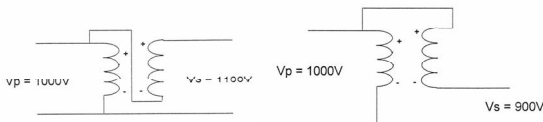
Penambahan pengatur tegangan yang ditempatkan dalam lingkungan Gardu Induk dan dapat juga dipasang pada penyulang diluar lingkungan Gardu Induk.

Pembahasan lebih lanjut tentang regulator tegangan akan diuraikan dalam Bab III.

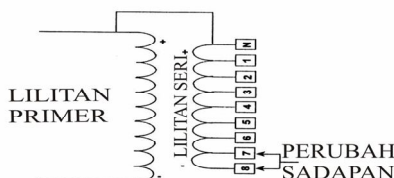
**REGULATOR TEGANGAN**

**3.1 Prinsip kerja regulator tegangan**

Regulator tegangan merupakan otto trafo ( auto transformer ) dimana lilitan primer dan lilitan sekunder dihubungkan menjadi satu sebagaimana gambar sebagai berikut ;

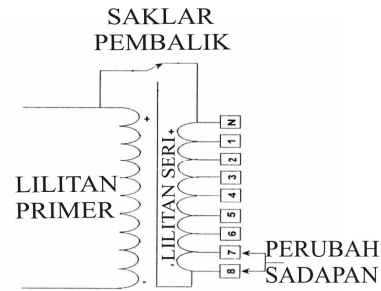


Selanjutnya pada gambar berikut merupakan pengembangan lebih lanjut dari gambar rangkaian otto transformator tersebut diatas dimana pada otto transformator ditambahkan peralatan perubahan sadapan yang mengatur tegangan keluaran ( step voltage regulator ).

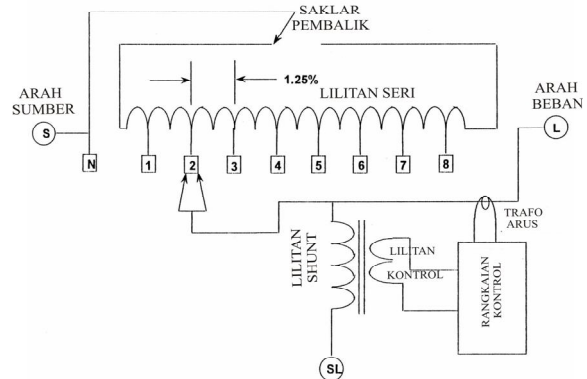


Gambar berikut merupakan pengembangan lebih lanjut dari gambar rangkaian sebelumnya dimana pada otto transformator ditambahkan lagi peralatan yang mengatur saklar pembalik ( reversing switch ) yang kerjanya diatur oleh sistem kontrol otomatis ( automatic control switch )

sehingga tegangan keluaran akan diatur pada nilai yang tetap sesuai dengan kemampuan sadapannya untuk berbagai nilai tegangan masukkan yang bervariasi lebih tinggi ataupun lebih rendah daripada tegangan keluaran .



Rangkaian secara lengkap salah satu tipe regulator tegangan dimana lilitan shunt dipasang pada sisi sumber adalah sebagaimana berikut ;



**3.2 Jenis regulator tegangan.**

Menurut jumlah fasenya jenis regulator tegangan dibedakan atas regulator 1 fase

**3.3 Pemasangan regulator tegangan.**

Dalam praktek pemasangan regulator dapat dipasang diatas tiang sedangkan regulator dengan kapasitas tertentu dimana beratnya sudah tidak memungkinkan lagi dipasang diatas tiang, maka dipilih konstruksi pemasangan diatas tanah ( pad mounted)

**3.3.1 Pemasangan regulator tegangan dalam lingkungan Gardu Induk .**

Regulator pada gardu induk beroperasi secara otomatis mengatur tegangan berdasarkan perubahan beban menggunakan On Load Tap Changer (OLTC). Beberapa cara pemasangan regulator tegangan pada gardu induk antara lain dengan cara :

1. Menyatu dengan transformator dan bekerja atas dasar perubahan beban (on load tap changing).
2. Dipasang terpisah pada sisi sekunder transformator tenaga, pada penyulang masuk (incoming feeder) yang menuju bus bar.

3. Dipasang pada masing-masing penyulang keluar (outgoing feeder).

**3.3.2 Pemasangan regulator tegangan pada saluran tegangan menengah.**

Sebagaimana diketahui bahwa sebagai akibat adanya susut tegangan pada saluran, maka besarnya nilai tegangan suatu titik pada ujung terima akan lebih kecil dari pada tegangan ujung kirim.

Regulator tegangan dipasang pada jaringan distribusi primer tegangan menengah berfungsi sebagai perbaikan tegangan yang bertitik pangkal pada tempat pemasangan regulator tegangan dan diharapkan akan memberikan dampak perbaikan tegangan saluran kearah beban.

Pada jaringan tegangan menengah distribusi primer yang sangat panjang mengakibatkan susut tegangannya sangat besar. Untuk mendapatkan tegangan pelayanan yang baik maka dimungkinkan untuk menambah pemasangan beberapa buah regulator.

**3.4 Menentukan kapasitas regulator tegangan.**

Untuk menentukan kapasitas regulator dipergunakan perhitungan sebagai berikut ;

$$I_{line} = \frac{\text{Beban } 3\phi}{V_{L-L} \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots 3.1$$

Kapasitas Regulator 3 fase =  $\frac{V_{L-L} \times \sqrt{3} \times I_{Line} \times \% \text{Regulasi}}{100} \dots\dots\dots 3.2$

Kapasitas Regulator 1 fase =  $\frac{V_{L-N} \times I_{Line} \times \% \text{Regulasi}}{100} \dots\dots\dots 3.3$

Sebagai contoh perhitungan misalnya ;

Beban = 10.000 KVA

$$I_{load} = \frac{10.000}{(13,2)(\sqrt{3})} = 438 \text{ Ampere}$$

$V_{L-L} = 13,2 \text{ KV}$

% regulasi = 10%

Kapasitas Regulator 3 fase =  $\frac{(10)(\sqrt{3})(13,2)(438)}{100} = 1.000 \text{ KVA} \cdot$

Bila menggunakan 3 buah regulator 1 fase maka

$$\text{kapasitas masing-masing} = \frac{(10) \left( \frac{13,2}{\sqrt{3}} \right) (438)}{100} = 333 \text{ KVA}$$

**3.5 Perlengkapan regulator tegangan.**

Perlengkapan utama dari regulator terdiri atas ;

- 3.5.1 Pengatur tegangan nominal sistem
- 3.5.2 Pengatur tegangan keluaran.
- 3.5.3 Pengatur batasan arus.

- 3.5.4 Pengatur lebar jalur tegangan ( bandwidth ).
- 3.5.5 Pengatur tunda waktu operasi ( time delay ).
- 3.5.6 Kompensator Susut Tegangan Saluran ( Line Drop Compensator )
- 3.5.7 Pengatur operasi penyesuaian tegangan masukkan terhadap tegangan keluaran

Selain perlengkapan utama tersebut diatas ,masih terdapat perlengkapan tambahan lain misalnya indikator waktu ( clock );pengatur kecepatan sadapan ( tap changing speed ) ,pengatur sensor daya balik ( reverse sensing mode) dan lain sebagainya yang tidak dibahas dalam tulisan ini.

**3.5.1 Pengatur tegangan nominal sistem.**

Pengatur tegangan nominal sistem ini dimaksudkan untuk mengatur bahwa regulator tersebut akan dioperasikan pada tegangan nominal sistem tertentu. Biasanya sebagai referensi adalah tegangan nominal fase ke netral.

**3.5.2 Pengatur tegangan keluaran.**

Pengatur tegangan keluaran berfungsi untuk menentukan tegangan keluaran yang dikehendaki. Besarnya tegangan keluaran akan tetap walupun terjadi variasi tegangan pada sisi masukkan yang besarnya bisa lebih tinggi ataupun lebih rendah dari nilai tegangan keluaran yang dimaksud.

**3.5.3 Pengatur batasan arus.**

Peralatan ini berfungsi sebagai memperbesar kapasitas arus dengan cara mengurangi % regulasi tegangan.

Salah satu contoh regulator yang menyatakan hubungan antara % regulasi dengan arus line adalah dinyatakan sebagaimana tabel sebagai berikut;

Tabel Hubungan antara % regulasi dengan arus line.

LEBAR REGULASI	%	% ARUS KERJA (A) PADA 55°C
± 10		100
± 8,75		110
± 7,5		120
± 6,25		135
± 5		160

Bila % regulasi diatur pada angka tertinggi misalnya sebesar ±10% maka besar arus line yang diijinkan adalah sebesar 100% dan bila % regulasi dituruinkan menjadi 5% maka arus line yang diijinkan akan bertambah menjadi 160%.

Dengan demikian pengatur batasan arus ini dapat dimanfaatkan bila dalam keadaan darurat dimana dapat berupa kapasitas regulator sudah tidak mencukupi lagi ataupun keterbatasan pada kontak pengubah sadapan ( tap changer's contacts ), maka dapat mengaturnya dengan merendahkan % regulasi yang berarti mengurangi jumlah lilitan seri sehingga mengurangi panas yang terjadi pada lilitan seri tersebut.



**3.5.4 Pengatur lebar jalur tegangan ( bandwidth).**

Lebar jalur tegangan ( bandwidth ) merupakan batas atas dan batas bawah suatu tegangan keluaran standar (SV) atau dinyatakan tegangan keluaran =  $SV \pm \frac{1}{2} BW$ .

Bilamana disaat operasi terjadi tegangan keluaran berada diatas ataupun dibawah standar tegangan yang ditetapkan, maka sistem kontrol akan mengatur tegangan keluaran kembali ke nilai standar yang diinginkan.

**3.5.5 Pengatur tunda waktu ( time delay).**

Pengatur tunda waktu operasi dipergunakan untuk mengatur agar setiap perubahan nilai tegangan keluaran tidak langsung/ sesaat ditanggapi oleh sistem kontrol untuk memerintah sadapan ( tap changer ) bekerja menormalkan tegangan keluaran tersebut.

Dengan demikian tunda waktu yang dimaksud tidak termasuk waktu yang dibutuhkan oleh perubah sadapan yang biasanya akan berhenti pada setiap sadapan sampai dengan tegangan keluaran normal kembali.

Sebagai akibat sering terjadinya variasi tegangan keluaran, bila diatur tanpa tunda waktu maka akan lebih sering sistem kontrol memerintahkan sadapan untuk bekerja sehingga hal demikian sudah barang tentu akan membutuhkan biaya pemeliharaan yang lebih besar.

**3.5.6 Kompensator Susut Tegangan Saluran ( Line Drop compensator)**

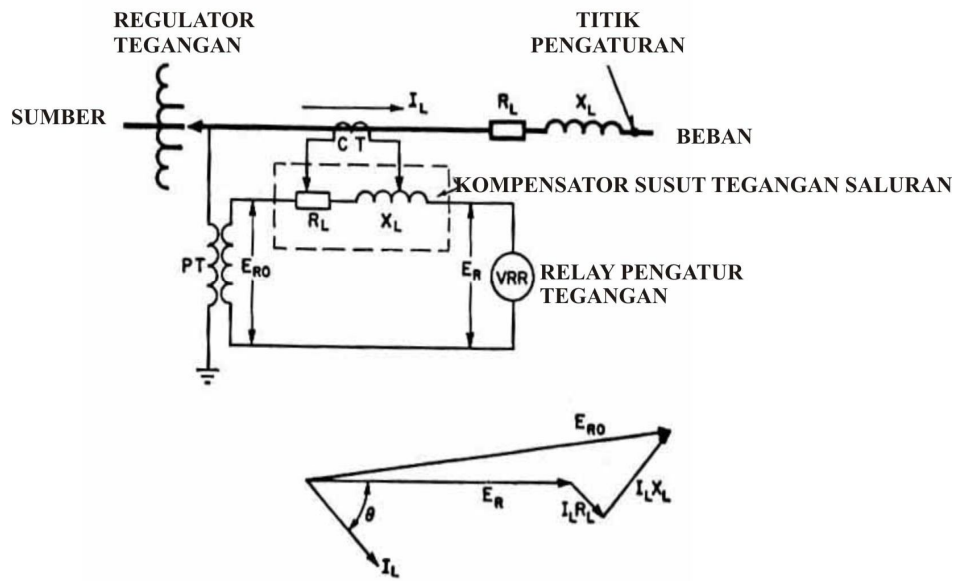
Untuk mendapatkan data tentang besarnya tegangan yang terjadi pada suatu penyulang baik yang maksimum maupun minimum maka dilakukan dengan dua buah cara ;

- Dengan cara mengukur langsung pada penyulang dengan menggunakan suatu alat ukur tegangan.
- Dengan menghitung susut tegangan yang terjadi pada sepanjang penyulang kearah titik yang ingin diketahui tegangannya ( $V_r$ ).

Dalam sub bab 2.6.9.1 dinyatakan bahwa;

$$\Delta V = V_d = I (R_L \cos \phi + X_L \sin \phi)$$

Besarnya  $I(R_L \cos \phi + X_L \sin \phi)$  inilah yang dipergunakan sebagai referensi Line Drop Compensator (LDC), untuk mengatur besarnya tahanan dan reaktansi yang dipasang pada pada peralatan tersebut.



Gambar Regulator tegangan menggunakan LDC

dimana ,

- |  |                                    |
|--|------------------------------------|
| $E_{R0}$ = Tegangan keluaran regulator | $R_L$ = Tahanan saluran            |
| $E_R$ = Tegangan rele                  | $X_L$ = Reaktansi saluran          |
| $I_L$ = Arus beban                     | $\theta$ = Sudut faktor daya beban |

Berdasarkan gambar diatas maka dapat diuraikan urutan prinsip kerja dari LDC adalah sebagai berikut;

- Pertama kali ditentukan tegangan keluaran regulator sesuai dengan yang dikehendaki , yang dihitung berdasarkan kebutuhan besarnya tegangan pada titik pusat beban ditambah hasil perhitungan besarnya susut tegangan dari titik pusat beban sampai dengan regulator dipasang.
- Setelah tegangan keluaran yang dikehendaki ditentukan, maka dipilih % Regulasinya.

- Selanjutnya dipilih besar tegangan sekunder transformator tegangan sebagai tegangan dasar ( based voltage ) yang pemilihannya berdasarkan tegangan keluaran yang telah ditetapkan. Misalnya pada sisi primer diharapkan tegangan keluaran = 11,5 KV dan ditentukan tegangan dasar 120 V maka PT 1 fase yang dipergunakan adalah 11,5 KV /120V.
- Selama tegangan yang terjadi pada PT ( $E_{R0}$ ) sebesar =120 V dan variasi tegangan yang terjadi

tidak melebihi bandwidth maka rele tidak akan bekerja.

Misalnya tegangan dasar dipilih = 120 Volt, bandwidth dipilih = 2 Volt maka batas tegangan atas agar rele memerintahkan reversing switch ( saklar balik) untuk bekerja adalah =  $120 + \frac{1}{2} \text{ band with} = 120 + 1 = 121 \text{ Volt}$ .

Sedangkan batas tegangan bawah agar rele memerintahkan saklar balik untuk bekerja adalah =  $120 - \frac{1}{2} \text{ band with} = 120 - 1 = 119 \text{ Volt}$ .

Setelah reversing rele bekerja menempatkan switch untuk menentukan polaritas lilitan sekunder dalam rangka menambah (+) atau mengurangi (-) tegangan keluaran sehingga sesuai dengan yang nilai yang diinginkan ,maka untuk mengatur perubahan sadapan regulator harus ditentukan batas tegangan pada rele ( $E_R$ ).

Dengan memperhatikan rangkaian sebagaimana ditunjukkan dalam gambar tentang LDC diatas terlihat bahwa  $E_R, E_{R0}$  dan  $E_{LDC}$  merupakan rangkaian tertutup sehingga dapat dinyatakan bahwa ;

$$E_R = E_{R0} - E_{LDC}$$

Dari rumus diatas dapat dinyatakan bahwa selain bergantung nilai  $E_{R0}$  besarnya  $E_R$  bergantung juga kepada nilai  $E_{LDC}$ .

Besarnya nilai  $E_{R0}$  diatur oleh transformator tegangan dan besarnya nilai  $E_{LDC}$  diatur melalui pengaturan besarnya resistansi dan reaktansi pada LDC menggunakan persamaan sebagai berikut ;

$$R_{Set} = \frac{C_{TP}}{N_{PT}} (r_L)(d) \dots\dots\dots 3.4$$

$$X_{Set} = \frac{C_{TP}}{N_{PT}} (x_L)(d) \dots\dots\dots 3.5$$

$$E_{LDC} = \sqrt{R_{Set}^2 + X_{Set}^2} \dots\dots\dots 3.6$$

$R_{Set}$  = Setting tegangan pada R ( Volt )

$X_{Set}$  = Setting tegangan pada X ( Volt )

$C_{TP}$  = Arus primer pada trafo arus (CT)

$N_{TP}$  = Perbandingan PT

$R_L$  = Tahanan konduktor dari tempat regulator s.d titik pusat beban ( ohm/mile )

$X_L$  = Reaktansi konduktor dari tempat regulator s.d titik pusat beban ( ohm/mile )

$d$  = Jarak dari regulator s.d titik pusat beban.

Dari persamaan diatas dapat dinyatakan bahwa ,besar  $E_{LDC}$  dipengaruhi oleh perubahan arus sekunder CT yang mengalir pada LDC yang merupakan rangkaian tertutup.

Pemilihan karakteristik CT harus dipilih sedemikian rupa sehingga perubahan besarnya arus sekunder CT relatif berbanding lurus dengan perubahan arus beban.

- Bila tegangan keluaran saluran primer naik yang besarnya melebihi bandwidth maka tegangan sekunder PT ( $E_{R0}$ ) akan naik dan mengakibatkan  $E_R$  melebihi setting rele VRR maka rele akan

bekerja menggerakkan saklar balik dan akan bekerja memerintahkan sadapan regulator untuk menurunkan tegangan.

- Demikian pula sebaliknya bila tegangan keluaran saluran primer turun yang besarnya melebihi bandwidth maka tegangan sekunder PT ( $E_{R0}$ ) akan turun dan tegangan  $E_R$  kurang dari setting rele VRR, maka rele akan bekerja menggerakkan saklar balik dan rele akan bekerja memerintahkan sadapan regulator untuk menaikkan tegangan.

Sistem pengaturan dengan LDC ini akan lebih tepat bila letak beban terpusat diujung penyulang dikarenakan besarnya arus yang mengalir akan sama sepanjang penyulang.

### 3.5.7 Operasi penyesuaian perubahan tegangan keluaran.

Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang memenuhi standar maka setiap perubahan tegangan akan selalu direspon oleh sistem kontrol yang selanjutnya akan diperintahkan kepada sadapan untuk mengatur tegangan standar keluaran. Respon sistem kontrol ini bergantung kepada " karakteristik tegangan " masukan yang diterima transformator tegangan.

Dikenal adanya 3 macam karakteristik tegangan masukan yang dipilih oleh peralatan sistem kontrol yaitu;

3.5.7.1 Sequential

3.5.7.2 Integrasi waktu

3.5.7.3 Tegangan rata-rata .

Perbedaannya adalah ;

- Untuk type Sequential, waktu yang direspon oleh sistem kontrol hanya waktu terakhir dimana tegangan yang keluar dari bandwidth.
- Untuk type Time Integrating waktu yang direspon oleh sistem kontrol merupakan penjumlahan waktu -waktu dimana tegangan yang keluar dari bandwidth
- Untuk karakteristik Tegangan rata-rata, maka yang direspon oleh sistem kontrol merupakan penjumlahan waktu -waktu dimana tegangan yang keluar dari bandwidth sudah melebihi batas nilai tegangan rata-ratanya.

Setelah salah satu karakteristik dipilih, maka sistem kontrol akan menganggap bahwa karakteristik tegangan masukan tersebut sudah berada diluar bandwidth sehingga atas dasar ini selanjutnya sistem kontrol akan memerintahkan pengubah sadapan untuk bekerja menaikkan ataupun menurunkan sadapan.

## IV. ANALISIS PERBAIKAN TEGANGAN MENGGUNAKAN PENGATUR TEGANGAN PADA PENYULANG PWI-10 GARDU INDUK 150/20 KV PURWODADI.

### 4.1 Penyulang PWI -10 GI 150/20 KV Purwodadi.

Penyulang PWI-10 GI 150/20 KV Purwodadi merupakan bagian dari sistem distribusi yang menyalurkan tenaga listrik ke beban yaitu berupa Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 KV fase tiga, 4 kawat dengan konfigurasi tipe radial.

SUTM ini diberi tegangan dari Transformator Tenaga 150 / 20 KV Unit I dengan kapasitas 20 MVA, merupakan saluran utama terbentang dari GI Purwodadi sebagai pusat penyulang sampai Ds. Wonosegoro, Kabupaten Boyolali wilayah kerja UPJ Tegowanu sebagai ujung penyulang.

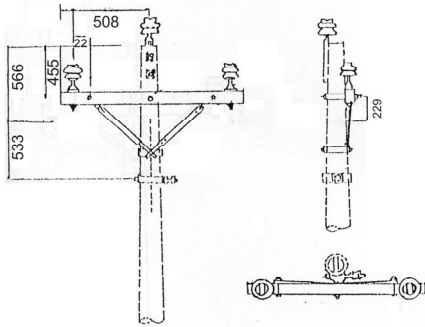
Panjang penyulang tiga fase PWI-10 adalah  $\pm 70,76$  km sirkuit digambarkan dalam bagan satu kutub penyulang PWI-10 adalah sebagaimana ditunjukkan dalam lampiran 1.

#### 4.1.1 Perlengkapan Listrik pada Penyulang PWI-10.

Perlengkapan listrik yang terpasang pada penyulang PWI-10 antara lain terdiri atas ;

1. Pemutus Tenaga dan Disconnecting Switch Tegangan Menengah yang tersusun dalam kubikel 20 KV di GI.
2. Load Break Switch
3. Recloser
4. Transformator Distribusi 1 fase dan 3 fase.

Data dilapangan menunjukkan bahwa sebagaiian besar kontruksi saluran udara tegangan menengah penyulang PWI-10 adalah menggunakan standar kontruksi B-1 sebagaimana gambar berikut ;



Gambar. standar konstruksi B-1

Konduktor yang dipergunakan adalah terdiri 2 ukuran yaitu 477 MCM dengan kawat netral 4/0 AWG dan 1/0 AWG dengan kawat netral berukuran sama dengan kawat fasenya.

Konduktor ukuran 477 MCM dipergunakan pada penyulang utama sedangkan pada percabangan menggunakan penampang konduktor yang lebih kecil berukuran 1/0 AWG

#### 4.1.2 Data Operasi Penyulang PWI-10.

Hasil pengukuran arus penyulang PWI-10 dan panjang penyulang per seksi adalah sebagaimana lampiran 2.

Atas dasar penggunaan jenis konduktor ,kontruksi pemasangan dan data operasi diatas maka dapat dilakukan suatu analisis tentang penggunaan regulator tegangan yang diperlukan pada penyulang PWI-10.

#### 4.2 Analisis penggunaan regulator tegangan pada penyulang PWI-10.

Dalam analisis ini terdapat beberapa catatan antara lain ;

1. Besarnya tahanan dan reaktansi konduktor dengan menganggap bahwa semua kontruksi tiang adalah sama B-1.
2. Nilai tegangan, arus dan impedansi yang dipergunakan dalam setiap perhitungan adalah berdasarkan harga mutlak.

3. Dengan pertimbangan terbatasnya data pengukuran lapangan ,maka arus yang dipergunakan sebagai dasar menghitung susut tegangan adalah arus yang diukur pada sisi sumber pada masing masing seksi, kecuali bila didapatkan hasil pengukuran lain maka hasil pengukuran tersebut yang dipergunakan.
4. Perhitungan susut tegangan hanya berdasarkan impedansi saluran ,sedangkan impedansi akibat pengaruh faktor yang lain ( misalnya konektor, kenaikan suhu dlsbnya ) diabaikan.
5. Tegangan nominal distribusi tegangan menengah adalah = 20 KV ( fase-fase ) atau 11,54 KV ( fase -netral ).
6. Batas tegangan fase-netral minimal pelayanan = -10% dari tegangan nominal = 10,39 KV atau sebesar 18 KV ( fase-fase).
7. Batas tegangan fase-netral maksimum pelayanan = + 5% dari tegangan nominal = 12,12 KV atau sebesar 21 KV ( fase-fase).
8. Tegangan pelayanan fase-fase minimal yang dipilih sebagai dasar perhitungan adalah 18,5 KV ( = - 7,5% x tegangan nominal). Hal ini dimaksudkan agar beberapa pemakai tenaga listrik didaerah yang jauh dari jaringan 3 fase masih dapat menikmati tegangan sesuai standar minimal pelayanan.
9. Disebabkan karena dan keterbatasan jumlah alat ukur yang sama presisinya, maka pengukuran arus pada beberapa titik pada penyulang saat beban puncak terpaksa dilakukan pada hari yang berbeda namun jam pengukuran mendekati sama.
10. Kemampuan regulator menaikkan dan menurunkan tegangan pada titik pemasangan =  $\pm 10\%$  ( 10% raise dan 10% lower ).
11. Perhitungan diproses dengan program EXCEL dengan segala keterbatasan dalam ketelitiannya bila dibandingkan dengan program lain.

#### Hasil perhitungan tegangan pada titik percabangan.

Dalam merencanakan pemasangan regulator ini dilakukan dengan beberapa tahapan dengan urutan sebagai berikut ;

1. Dihitung besarnya tegangan pada beberapa titik titik percabangan sebelum dipasang regulator.
2. Dihitung penempatan regulator I dengan urutan sebagai berikut ;
  - a. Ditentukan tegangan fase-netral minimal = 10,68 KV.
  - b. Tegangan ini dipilih dengan pertimbangan bahwa besarnya masih diatas tegangan pelayanan minimal 18 KV dengan harapan bahwa penambahan arus beban ( dampak dari kenaikan tegangan akibat pemasangan regulator ) akan mengakibatkan susut tegangan tegangan yang lebih besar namun dititik pemasangan regulator yang lebih dahulu dipasang, masih memenuhi standar pelayanan minimal 18 KV.

- c. Ditentukan penambahan arus beban mulai dari sisi sumber akibat kenaikan tegangan pada sisi beban setelah pemasangan regulator. Penambahan arus beban sebanding dengan kenaikan tegangan sebelum dan sesudah dipasang regulator.
  - d. Dihitung susut tegangan pada masing masing seksi dengan memperhitungkan penambahan arus akibat pemasangan regulator.
  - e. Ditentukan jarak penempatan regulator I berdasarkan perhitungan susut tegangan yang baru.
3. Setelah regulator I dipasang, maka dihitung besarnya nilai tegangan pada titik percabangan dengan cara yang sama seperti sebelum dipasang regulator. Pada tahap ini tegangan keluaran fase-netral regulator I sebesar =  $10,68 \times 110\% = 11,75$  KV.  
Besarnya susut tegangan diperhitungkan berdasarkan arus beban yang baru (= arus beban yang lama ditambah penambahan arus akibat pengoperasian regulator I).
  4. Bila masih terdapat titik yang tegangannya dibawah standar pelayanan minimal, maka dihitung penempatan regulator tahap berikutnya dengan cara memilih tempat yang tegangan fase – netral nya = 10,68 KV atau tegangan fase-fase = 18,5 KV.
  5. Setelah regulator tersebut dioperasikan, maka dihitung besarnya nilai tegangan pada titik percabangan dengan cara yang sama seperti setelah dipasang regulator I.  
Pada tahap ini tegangan keluaran fase-netral regulator akan sebesar =  $10,68 \times 110\% = 11,86$  KV.
  6. Demikian seterusnya sehingga dapat ditentukan titik-titik penempatan regulator dan berapa jumlah regulator yang dibutuhkan agar tegangan pelayanan di semua titik pada penyulang memenuhi tegangan minimal pelayanan.
  7. Setelah selesai semua regulator terpasang, maka diteliti kembali apakah semua titik pelayanan sudah memenuhi tegangan standar pelayanan minimal ( tegangan fase-netral = 10,39 KV ).

Hasil perhitungan tegangan masing masing percabangan adalah sebagaimana lampiran 3 sampai dengan lampiran 7.

## V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat dikemukakan berdasarkan hasil observasi dan analisis tentang usaha perbaikan tegangan pada jaringan tegangan menengah 20 KV penyulang PWI-10 Gardu Induk 150/20KV Purwodadi” sebagai berikut;

1. Kapasitas dan penempatan regulator sangat dipengaruhi oleh bentuk jaringan, arus beban dan impedansi saluran utama maupun percabangannya.
2. Setiap penambahan tegangan keluaran regulator akan memberikan dampak penambahan arus disisi beban.

Hal ini akan menambah besarnya susut tegangan yang akhirnya akan mempengaruhi besarnya tegangan pelayanan seluruh titik pelayanan dari ujung sumber sampai dengan beban.

3. Jaringan Tegangan Menengah 20 KV PWI-10 yang dilayani dari GI 150/20 KV Purwodadi ini merupakan jaringan yang jauh dari ukuran standar pelayanan.

Hal ini dibuktikan dari hasil perhitungan bahwa besarnya tegangan masukan pada regulator I akibat pemasangan empat buah regulator = 10,39 KV atau merupakan tegangan minimal pelayanan.

### 5.2 Saran

Dari hasil analisis diatas maka saran yang dapat diberikan antara lain:

1. Dalam merencanakan pemasangan regulator tegangan, perlu diperhatikan bentuk penyulang dan titik pembebanan dan penampang konduktor yang dipergunakan .
2. Berhubung dimungkinkan terjadi kenaikan arus disisi beban disaat regulator beroperasi dan arus ini akan mengakibatkan susut tegangan yang lebih besar maka setiap perencanaan regulator disarankan untuk disimulasikan terlebih dulu dengan asumsi-asumsi yang benar.
3. Dalam setiap pengoperasian regulator distribusi tegangan menengah perlu memperhatikan posisi sadapan transformator distribusi hal ini mencegah jangan sampai terjadi tegangan lebih atau sebaliknya.
4. Berkaitan dengan harga regulator yang sudah barang tentu bergantung dengan kapasitasnya, maka untuk beban yang kecil tidak harus dipasang regulator kapasitas besar sehingga terdapat penghematan biaya investasi.
5. Perlu difikirkan kemungkinan penambahan Gardu Induk baru untuk mengurangi panjang jaringan yang sudah melebihi standar pelayanan tersebut.
6. Dalam pengoperasian regulator perlu diperhatikan kemungkinan terjadi perubahan catu daya dari Gardu Induk lain yang dapat mempengaruhi terhadap operasi regulator tersebut.
7. Metode perbaikan tegangan tidak hanya menggunakan regulator dan masih banyak metode perbaikan tegangan yang lain, sehingga untuk mendapatkan sistem perusahaan yang berdaya guna dan berhasil guna, pengoperasian regulator sangat perlu untuk dikombinasikan dengan metode yang lain.
8. Sehubungan dengan hal tersebut diatas maka perlu dilakukan pengukuran secara periodik pada jaringan ( paling tidak pada penyulang utama ataupun pada percabangan yang dianggap penting untuk dievaluasi ).  
Pengukuran yang dimaksud meliputi besarnya tegangan , arus dan faktor daya sehingga dapat

digambarkan profil ketiga besaran tersebut pada setiap titik percabangan ataupun pada jarak tertentu dari suatu penyulang.

Hasil pengukuran tersebut secara periodik dapat sebagai dasar/ pedoman perbaikan kinerja perusahaan secara berkesinambungan termasuk didalamnya perbaikan kualitas pelayanan.

Lampiran 4	Hasil perhitungan tegangan pengoperasian regulator I
Lampiran 5	Hasil perhitungan tegangan pengoperasian regulator II
Lampiran 6	Hasil perhitungan tegangan pengoperasian regulator III
Lampiran 7	Hasil perhitungan tegangan pengoperasian regulator IV

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fitzgerald, Higginbotham dan Grabel, Basic Electrical Engineering edisike4, Mc Graw Hill Kogakusha Ltd, 1975
- [2] Gonen, Turan, Electric Power Distribution system Engineering, McGraw-Hill Book Company, New York, 1986
- [3] Gonen Turan, Modern Power System Analysis, Sacramento California, 1987
- [4] Hadi Sadat, Power System Analysis, McGraw-Hill Book Company, New York, 1999
- [5] Pabla AS dan Abdul Hadi, Sistem Distribusi Daya Listrik, Erlangga, Jakarta, 1994
- [6] Perusahaan Umum Listrik Negara, Ketenger System Design Criteria For Central Java Electrification Project, 1974
- [7] Rural Electrification Administration Bulletin No.169-4, Voltage Level On Rural Distribution System, Washington DC 1952
- [8] Rural Electrification Administration Bulletin No.160-1, Engineering And Operation Manual For Rural Electric Systems, Washington DC 1968
- [9] Rural Electrification Administration Bulletin No.169-1, The Application Of Shunt Capacitors To Rural Electric Systems, Washington DC 1972
- [10] Rural Electrification Administration Bulletin No.169-27, Voltage Regulator Application On Rural Electric Systems, Washington DC 1973
- [11] Westinghouse Electric Corporation, Distribution System, East Pittsburgh Pennsylvania, 1959



**Penulis:**  
Kasyanto  
L2F 303512  
Teknik Elektro  
Universitas Diponegoro Semarang

Mengetahui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Agung Nugroho

Susatyo Handoko, ST, MT

## VI. Daftar Lampiran.

- |            |  |
|------------|--|
| Lampiran 1 | Bagan Satu Kutub Penyulang PWI-10 Gardu Induk 150/20 KV Purwodadi. |
| Lampiran 2 | Data hasil pengukuran arus dan panjang penyulang PWI-10            |
| Lampiran 3 | Hasil perhitungan tegangan sebelum pemasangan regulator            |