

Penggunaan Penyeimbang Penurunan Saluran (*Line Drop Compensation*) Dalam Hubungan Dengan AVR dan Transformator Sebagai Pengatur Tegangan Pada Jaringan Distribusi 20 kV

Mustamam

Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UNIMED, Medan

Abstrak—Pendistribusian daya listrik ke konsumen melalui suatu jaringan distribusi pada saat tertentu akan dapat mengalami jatuh tegangan pada saluran. Akibat jatuh tegangan akan dapat berakibat terhadap kinerja peralatan-peralatan listrik seperti lampu pijar, lampu TL (tube lamp), motor induksi dsb. Kebanyakan peralatan listrik dirancang agar bekerja pada tegangan tertentu dan dalam batas toleransi yang diinginkan, sehingga efisiensi dan kecepatan kerja peralatan menjadi baik. Untuk mereduksi masalah tersebut perlu digunakan sebuah penyeimbang penurunan saluran (*Line Drop Compensation*) yang berhubungan dengan pengatur tegangan otomatis (*Automatic Voltage Regulator*) sebagai pengatur tegangan. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui jatuh tegangan pada jaringan dengan penggunaan penyeimbang penurunan saluran dalam hubungan dengan transformator dan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) sebagai pengatur tegangan dan kemudian menentukan hasil setting tahanan R dan reaktansi X pada saluran distribusi 20 kV agar tegangan pada saluran tetap dalam batas yang diizinkan. Untuk mendapatkan jatuh tegangan, setting tahanan R dan reaktansi X dilakukan dengan variasi panjang saluran. Dengan variasi panjang saluran diperoleh R_{set} dan X_{set} yang berbeda. Dengan persentase panjang saluran terbesar, didapat jatuh tegangan, R_{set} dan X_{set} yang berbeda pula. Dengan demikian dapat disimpulkan semakin besar persentase panjang saluran terhadap jarak penyeimbang penurunan saluran (*Line Drop Compensation*) ke ujung saluran/beban yang dihasilkan jatuh tegangan, setting tahanan R dan reaktansi X semakin besar dibandingkan dengan yang lainnya.

Kata Kunci : Penurunan Tegangan, *Automatic Voltage Regulator*, Mengatur R_{set} dan X_{set}

I. PENDAHULUAN

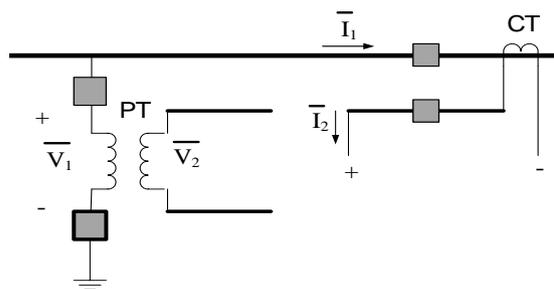
Kehilangan daya pada pendistribusian merupakan kerugian yang cukup besar dalam sistem kelistrikan, dimana sistem distribusi 20 kV ini lebih sering mengalami gangguan dibanding dengan sistem pembangkitan dan sistem pembebanan, untuk mengatasi gangguan tersebut diperlukan pengaturan tegangan yang berhubungan

dengan transformator dan pengatur tegangan otomatis (*Automatic Voltage Regulator*) dengan menggunakan penyeimbang penurunan saluran (*Line Drop Compensation*). Peralatan pengaturan tegangan pada saluran distribusi terdiri dari dua buah peralatan utama yaitu transformator dan *Automatic Voltage Regulator* (AVR), yang ditempatkan sesuai dengan fungsi masing-masing.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Transformator Pengukuran

Dalam hal ini transformator pengukuran atau transformator instrument berfungsi mengubah arus dan tegangan yang besar, menjadikan tegangan dan arus rendah.



Gambar 1. Representasi transformator pengukuran

Terlihat pada Gambar 1 bahwa transformator tegangan dipergunakan dengan menghubungkan kumparan-kumparan primernya secara paralel dengan beban, atau sekundernya dihubungkan dengan sirkuit tegangan dari pengukur volt atau pengukur watt. Dengan cara demikian, maka kumparan primer dan sekunder diisolasikan secara cukup dari satu dan lainnya, sehingga tegangan tinggi bisa ditransformasikan ke tegangan rendah, untuk keperluan pengukuran yang aman. Pada transformator arus juga dihubungkan seri kumparan primernya dengan beban, kumparan sekundernya dihubungkan dengan sirkuit arus dari alat pengukur ampere atau alat pengukur watt.

B. Transformator Tegangan (PT)

Transformator tegangan berfungsi untuk menurunkan tegangan yang tinggi menjadi rendah. Transformator tegangan ini ada yang khusus di pasang di dalam dan di luar instalasi, dimana biasanya pasangan luar ini konstruksinya bersirip-sirip licin sehingga tahan terhadap air. Menurut isolasinya transformator tegangan ini ada

yang berisolasi cast resin dan ada yang berisolasi minyak. Minyak juga berfungsi sebagai pendingin.

Menurut azas kerjanya transformator tegangan dibagi menjadi :

a. Transformator tegangan Induktif (inductif voltage transformer)

Transformator tegangan ini terdiri dari lilitan primer dan sekunder. Hubungan dan jumlah lilitan dapat dinyatakan seperti persamaan (1):

$$V_1/V_2 = N_1/N_2 \tag{1}$$

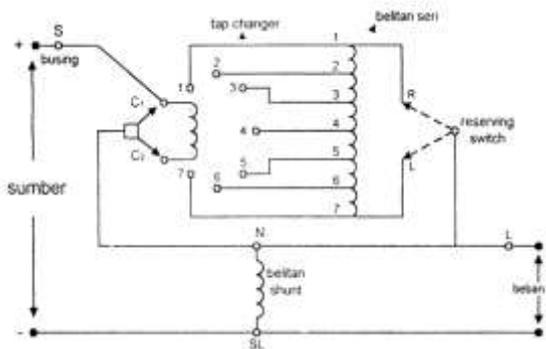
b. Transformator tegangan kapasitif (capasitive voltage transformer)

Transformator ini terdiri dari kondensator yang berhubungan seri, berfungsi sebagai pembagi tegangan. Untuk mendapatkan tegangan yang sesuai dihubungkan dengan sebuah transformator induktif. Perbandingan primer dan sekunder dapat dinyatakan dengan persamaan (2):

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} \tag{2}$$

C. Pengatur Tegangan Otomatis (Automatic Voltage Regulator/AVR)

Pengatur tegangan Otomatis (AVR) yang digunakan sebagai regulator tegangan otomatis untuk meregulasi tegangan suatu sistem jaringan karena perubahan arus beban dengan tujuan mempertahankan tegangan sistem konstan sebesar harga yang ditentukan sebelumnya yang dianggap masih mengijinkan untuk kondisi-kondisi operasi dari segi teknis. AVR yang ditempatkan di substation dengan fungsi regulator tegangan bus selama perubahan arus beban yang keluar dari bus tegangan menengah memasuki feeder primer, agar tegangan bus konstan pada harga yang ditentukan sebelumnya. Cara kerja dari AVR yang dapat dilihat pada Gambar 2 :



Gambar 2. Rangkaian pengatur tegangan otomatis

Pada kawat netral N diletakkan alat pengontrol yang otomatis yang dapat bekerja dengan dua arah, yaitu arah yang mengikuti putaran jarum jam (C₁) dan berlawanan dengan putaran jarum jam (C₂) dimana bushing S dihubungkan alat kontrol tersebut.

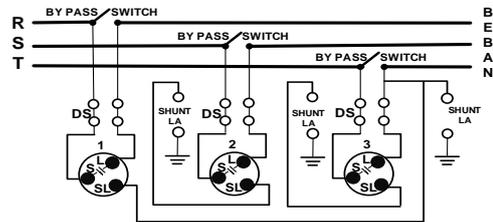
Reserving switch pada belitan seri :

a. Pada posisi reserving switch di L

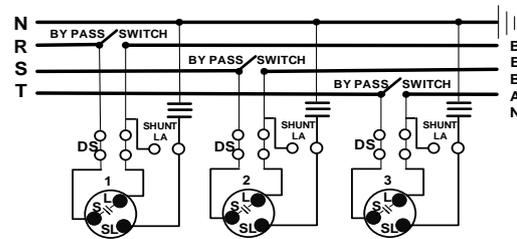
Bila alat pengontrol bekerja melalui tap-tap changer otomatis dengan system searah dengan putaran jarum jam (C₁) maka akan menurunkan tegangan dan bila bekerja berlawanan dengan arah putaran jarum jam (C₂) maka akan menaikkan tegangan.

b. Pada posisi reserving switch di R

Bila alat pengontrol bekerja melalui tap-tap changer otomatis dengan system searah putaran jarum jam (C₁), maka akan menaikkan tegangan dan jika bekerja berlawanan arah dengan putaran jarum jam (C₂) maka akan menurunkan tegangan.



Gambar 3. AVR terpasang pada suatu jaringan distribusi hubung delta



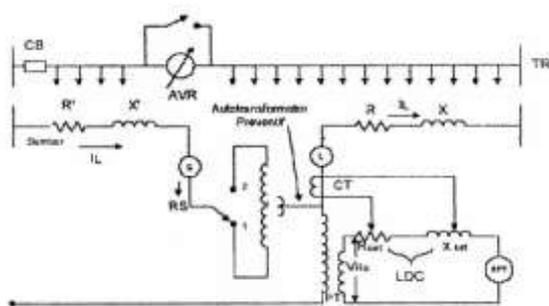
Gambar 4. AVR terpasang pada suatu jaringan distribusi hubungan bintang (Y)

AVR dapat bekerja dengan pengontrolan atau penyetingan beberapa alat yaitu :

1. Setting tundaan waktu (time delay setting)
2. Setting bandwidth (BW setting)
3. Setting bagian rangkaian LDC (LDC setting)
4. Setting tegangan VRR (tegangan referensi VRR)

Setting ini dapat dilakukan dengan pemutaran tombol-tombol dial yang terdapat pada panel kontrol. Perlu diketahui bahwa setiap unit AVR masing-masing mempunyai rangkaian kontrol, panel kontrol, perangkat pengubah tap sadapan dan motor penggerak mekanik.

Pada Gambar 5, yaitu suatu penyulang radial yang menggunakan AVR sebagai regulator tegangan. Penyulang primer mengalami jatuh tegangan, oleh karena itu peralatan ini dioperasikan secara boosting.



Gambar 5. Diagram operasi kerja AVR dengan kondisi kerja boosting

Supaya AVR dapat meregulasi tegangan feeder primer secara otomatis, maka peralatan regulator ini dilengkapi dengan rangkaian kontrol yang terdiri dari : Rangkaian Line Drop Compensation (LDC) dan rangkaian rele statis atau voltage regulation (VRR). Dalam hal ini bagaimana koordinasi antara LDC dengan VRR untuk mengontrol AVR, agar AVR dapat bekerja dengan sempurna dan stabil, diperlukan beberapa setting, karena kestabilan operasi kerja AVR ditentukan oleh kestabilan kerja rangkaian kontrolnya.

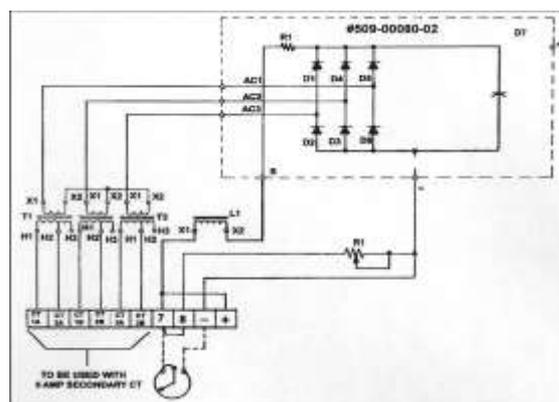
Operasi kerja otomatis dari peralatan regulator ini, dimana rele pengatur tegangan (VRR) tidak akan bekerja memberikan instruksi ke motor penggerak pengubah tap sadapan, jika tidak ada perubahan arus beban atau tegangan yang diterima. Pada Gambar 5 dapat dilihat bagan sederhana dari kompensator saluran, berikut dengan diagram fasor dari sirkuit pengendaliannya pada kompensator saluran, terdapat trafo arus dan trafo tegangan untuk mendeteksi tegangan dan arus beban. Rele pengaturan tegangan pada kompensator jaringan mengontrol kerja pengaturan tegangan. Misalkan tegangan pada titik/tempat pada saluran yang akan dipertahankan adalah V_R maka setiap perubahan V_R oleh arus beban akan menyebabkan perubahan V_{Ro} , yaitu tegangan keluar (output) dari pengaturan tegangan di penyulang. Adanya perubahan V_{Ro} , menyebabkan rele pengatur tegangan (VRR), bekerja, sehingga tegangan keluar pengatur kembali ke harga V_R lagi. Jadi disini V_R dipegang dari diagram fasornya untuk mendapatkan V_R yang konstan, bila arus beban berubah-ubah maka nilai tahanan (R) dan reaktansi (X) harus dirubah atau nilai R_{set} dan X_{set} perlu diatur kembali, sehingga drop tegangan akan timbul pada saluran. Maka pada saat yang sama CT langsung merasakan arus beban dan arus sekunder CT memasuki rangkaian LDC, selanjutnya pada rangkaian LDC timbul drop tegangan yang merupakan tegangan lawan sehingga tegangan yang diterima VRR turun dari harga settingnya. Perubahan tegangan yang akan diterima VRR akan membuat rele ini memberikan instruksi ke motor pengubah tap sadapan untuk perangkat mekanik pemindah tap bekerja menambah jumlah tap belitan seri, sehingga

tegangan output AVR bertambah. Pertambahan tegangan output dirasakan oleh (PT), pemindahan tap sadapan belitan seri terus berlangsung hingga harga tegangan yang diterima oleh VRR mencapai tegangan settingnya (referensi). Setting tegangan VRR adalah sesuai besarnya dengan harga tegangan yang diijinkan untuk pemakaian saat beban puncak pada ujung feeder primer.

Dengan adanya alat sensing (CT) yang akan mentransformasi perubahan-perubahan arus dan (PT), yang akan mentransformasi perubahan-perubahan tegangan output regulator, maka perubahan arus dan tegangan sepanjang penyulang primer sebanding dengan perubahan arus beban, tegangan pada rangkaian kontrol dan perubahan drop tegangan pada penyulang adalah sebanding dengan perubahan tegangan drop pada rangkaian LDC.

D. Rangkaian Penyeimbang Penurunan Saluran (Line Drop Compensation)

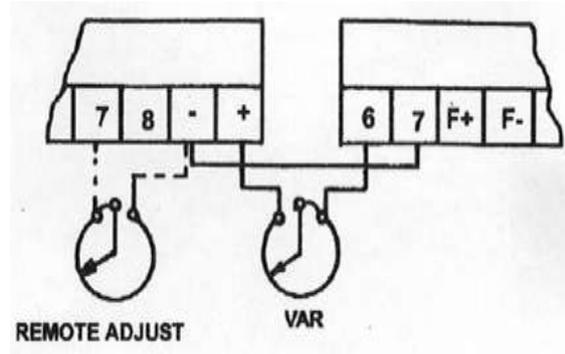
Penyeimbang penurunan saluran adalah komponen yang terdiri atas resistansi dan reaktansi yang dipakai untuk menjaga agar tegangan pengumpan tetap konstan pada satu titik yang jauh dari transformator terregulasi. Komponen ini melewati arus sebanding dengan arus beban dan menghasilkan tegangan yang sama. Tegangan dari regulator dapat merupakan satu kesatuan dengan transformator tenaga atau merupakan unit terpisah yang dipasang pada jaringan. Regulator tegangan dapat mengatur tegangan dengan baik bila dilengkapi dengan penyeimbang penurunan saluran. LDC merupakan sensor kontrol yang mengatur naik turunnya tegangan regulator sesuai dengan jatuh tegangan yang disebabkan oleh arus impedansi dan arus beban. Rangkaian Line drop compensation tiga fasa terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian penyeimbang penurunan saluran (line drop compensation) tiga fasa

Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa untuk menggunakan pengaturan internal terminal 7 dan 8 di jumper. Untuk menggunakan remote pengaturan, hubungkan papan tahanan eksternal dengan 3Ω,

25W diantara terminal 7 (negatif), pindahkan jumper antara terminal 7 dan 8.



Gambar 7. Koneksi pengaturan pada rangkaian penyeimbang penurunan saluran (line drop compensation)

E. Pengoperasian Alat Penyeimbang Penurunan Saluran (Line Drop Compensator)

Penyeimbang Penurunan Saluran memberikan tegangan konstan pada beban untuk rugi-rugi saluran lebih kurang 8 %, tergantung dari tipe pengatur tegangan penyeimbang penurunan saluran. Mengatur beban pada AVR dan mengirimkan suatu tanda/ sinyal ke pengatur tegangan untuk meningkatkan output tegangan bila tegangan hilang dalam saluran antara AVR dan beban.

Transformator arus memberikan suatu sinyal/ tanda bahwa terjadi keseimbangan pada arus saluran. Jembatan penyearah mengubah sinyal ac ke dc dan jembatan penyearah di bantu dengan sirkit perasa dari pengatur tegangan. Setting tahanan variable akan menentukan jumlah LDC yang diberikan ke pengatur tegangan

F. Penyetelan Penyeimbang Penurunan Saluran

Regulator di pasang mempunyai jarak dari pusat beban (lokasinya tegangan yang di atur). Ini berarti beban tak akan melayani pada level tegangan yang diinginkan disebabkan karena kerugian (penurunan tegangan) pada saluran antara regulator dan beban. Apabila beban bertambah, rugi saluran juga bertambah menyebabkan tegangan akan mengalami kondisi terendah yang terjadi ketika pembebanan terbesar diberikan.

Untuk memberikan pengaturan dengan kemampuan yang dapat mengatur suatu pusat beban yang diperhitungkan, pabrikan menggabungkan elemen-elemen penyeimbang penurunan tegangan (LDC) dalam alat kontrol tersebut.

Untuk kontrol, arus input dimisalkan dan digunakan dalam suatu algoritma komputer dimana menghitung tahanan dan penurunan tegangan reaktif masing-masing berdasarkan nilai LDC, pemrograman di dalam kontrol tersebut pada kode 4 dan 5 (atau kode fungsi 54 atau 55 untuk membalik kondisi aliran daya). Ini benar-benar suatu yang

lebih akurat dalam perkembangan tegangan yang di kompensasikan.

G. Penyetingan Resistansi R dan Reaktansi X LDC

Pengaturan tegangan ini ditempatkan pada penyulang yang dipakai untuk menjaga tegangan konstan. Kontrol titik pengaturan tegangan tanpa memperhitungkan faktor beban. Titik kontrol tegangan biasanya dipilih menjadi suatu tempat diantara regulator dan ujung penyulang. Penjagaan tegangan otomatis ini dicapai dengan setting dial (setting nomor) suatu titik/tempat yang akan dipertahankan tegangannya, dilakukan secara otomatis dengan mengatur kedudukan/ setting dari tahanan (R) dan reaktansi (X) dari rangkaian kontrol dari kompesator saluran (LDC).

Penyetingan R_{set} dan X_{set} sesuai keadaan berbeban atau tidak berbeban pada penyulang diantara pengatur tegangan dan titik pengaturan tegangan. Untuk tanpa beban, penyulang yang diubah adalah feeder antara pengatur tegangan dan titik pengaturan tegangan, maka setting R_{set} dari LDC dapat ditentukan sebagai berikut :

$$R_{set} = R_{set} = \frac{Tap}{a} \cdot r_e \text{ (volt)} \tag{3}$$

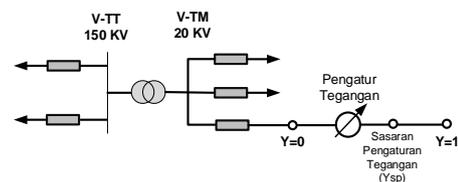
Setting X pada LDC dapat diatur dengan :

$$X_{set} = \frac{Tap}{a} \cdot X_e \text{ (volt)} \tag{4}$$

H. Penempatan Resistansi R dan Reaktansi X pada Jaringan Distribusi

Penempatan R_{set} dan X_{set} sangat penting dalam pembahasan Penyeimbang penurunan saluran (Line Drop Compensation) untuk mengetahui tegangan dalam suatu jaringan. Penempatan resistansi dan reaktansi pada jaringan distribusi dapat berjarak 1/4, 2/4 dan 3/4 dari sepanjang jaringan yang dipergunakan dimana penempatan R_{set} dan X_{set} yang dibahas adalah R dan X pada LDC AVR hingga ujung saluran dari GI Binjai.

Pada Gambar 8 suatu bagian dari sistem distribusi tegangan menengah, dengan beberapa penyulang radial yang di catu oleh gardu induk. Pengatur tegangan penyulang, naik dan turunnya posisi sadapan pada alat pengatur ini bekerja secara otomatis dengan mengacu pada tegangan di titik sasaran pengaturan yaitu Y_{sp} .



Gambar 8. Gardu induk yang mencatu beberapa penyulang primer

Pada keadaan ini akan diberikan kasus yang menganalisa R dan X pada saluran yang ada di lapangan sesuai dengan jarak masing-masing regulator tegangan yang ditinjau dari Gardu Induk.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Teknis Peralatan

Dalam hal ini data dari beberapa peralatan yang digunakan untuk dapat mengontrol tegangan dengan sistem pengontrol kompensator tegangan yang pada saluran diambil dari data yang ada di lapangan. Pada dasarnya LDC AVR yang ada di PT.PLN (Persero) Cabang Binjai Wilayah Kerja Ranting Stabat di suplai dari Gardu Induk Binjai.

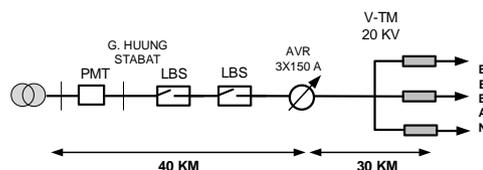
Transformator tenaga GI Binjai 60 MVA 3 ϕ , 150/20KV, yang dilengkapi sadapan berbeban yang dapat mengontrol tegangan 10 % dalam 32 langkah yang setiap langkahnya 5/8 % untuk masing-masing transformator.

- Jenis konduktor saluran = AAAC
- Penampang konduktor = 150 mm²
- R = 0,2250 Ohm/Km dan X = 0,3002 Ohm/Km
- Z saluran = $\sqrt{R^2 + X^2} = 0,3998$ Ohm/Km
- Panjang penyulang dibagi atas =
 - Dari Gardu Induk Binjai hingga Gardu Hubung Stabat adalah 15 km
 - Dari Gardu Hubung Stabat hingga AVR – LDC adalah 25 km
 - Dari Gardu Induk Binjai hingga Ujung saluran adalah 70 km
- Base tegangan primer (V_{base}) = 20 kV
- Ratiotransformator (I_1/I_2) = 400/5
- Transformator arus di sisi primer (Tap) = 400A
- Ratio Transformator tegangan (V_1/V_2) = $a = \frac{20000/\sqrt{3}}{100/\sqrt{3}} = 200$
- Faktor daya ($\cos \phi$) = 0,85 lagging
- Beban total saluran (S) di Gardu Hubung Stabat = 13 MVA

B. Hasil Perhitungan Pemasangan LDC AVR yang di Suplai

Perhitungan R_{set} dan X_{set} pada LDC AVR yang disuplai dari Gardu Induk Binjai dapat dianalisa dengan menggunakan data lapangan yang digambarkan secara sederhana pada Gambar 9:

- Panjang saluran dari Gardu induk (GI) Binjai sampai ke LDC AVR adalah 40 km
- Dari Gardu Induk Binjai hingga Ujung saluran adalah 70 km
- Jadi Panjang saluran dari alat pengatur sampai sasaran titik pengaturan 70 km – 40 km = 30 km.



Gambar 9. Profil saluran dari gardu induk Binjai sampai ke LDC AVR

Dari data yang didapat maka dapat ditentukan :

- a. Jatuh tegangan dari Gardu Induk Binjai hingga pangkal LDC AVR
- b. Penyetelan terbaik dari R_{set} dan X_{set} dari LDC AVR

Dengan mengaplikasikan perhitungan pada panjang saluran di 20 %, 40 %, 60 %, 80 % dan 100 %.

a. Jatuh tegangan dari Gardu Induk Binjai hingga pangkal LDC AVR

Dari data-data yang ada maka dapat dihitung jatuh tegangan dengan beban merata sepanjang saluran :

- Dengan panjang saluran 20 % :
20 % x 40 = 8 km

$$(\Delta V)\% = \frac{S.L.(r.\cos\phi + x.\sin\phi)}{10.V^2} .100\%$$

$$(\Delta V)\% = \frac{13.10^6.8.(0,2250.0,85 + 0,3002.0,52)}{10.20000^2} .100\%$$

$$(\Delta V)\% = 0,00903 \times 100\% = 0,09\%$$

Maka jatuh tegangan dari GI Binjai hingga LDC AVR adalah: $(\Delta V)\% = 0,9\%$

$$\Delta V = \frac{0,9}{100} \times 20000 = 180,62V = 0,18kV$$

$$\Delta V pu = \frac{180,62}{20000} = 0,00903 pu$$

- Dengan panjang saluran 40 % :
40 % x 40 = 16 km

$$(\Delta V)\% = \frac{S.L.(r.\cos\phi + x.\sin\phi)}{10.V^2} .100\%$$

$$(\Delta V)\% = \frac{13.10^6.16.(0,2250.0,85 + 0,3002.0,52)}{10.20000^2} .100\%$$

$$(\Delta V)\% = 0,01806 \times 100\% = 1,8\%$$

Maka jatuh tegangan dari GI Binjai hingga LDC AVR adalah $(\Delta V)\% = 1,8\%$

$$\Delta V = \frac{1,8}{100} \times 20000 = 361,2V = 0,36kV$$

$$\Delta V pu = \frac{361,2}{20000} = 0,01806 pu$$

- Dengan panjang saluran 60 % :
60 % x 40 = 24 km

$$(\Delta V)\% = \frac{S.L.(r.\cos\phi + x.\sin\phi)}{10.V^2} .100\%$$

$$(\Delta V)\% = \frac{13.10^6.24.(0,2250.0,85 + 0,3002.0,52)}{10.20000^2} .100\%$$

$$(\Delta V)\% = 0,02709 \times 100\% = 2,7\%$$

Maka jatuh tegangan dari GI Binjai hingga LDC AVR adalah : $(\Delta V)\% = 2,7\%$

$$\Delta V = \frac{2,7}{100} \times 20000 = 541,87 V = 0,54 kV$$

$$\Delta V \text{ pu} = \frac{541,87}{20000} = 0,02709 \text{ pu}$$

- Dengan panjang saluran 80 % :
80 % x 40 = 32 km

$$(\Delta V)\% = \frac{S.L.(r.\cos\varphi + x.\sin\varphi)}{10.V^2} .100\%$$

$$(\Delta V)\% = \frac{13.10^6.32.(0,2250.0,85 + 0,3002.0,52)}{10.20000^2} .100\%$$

$$(\Delta V)\% = 0,036124 \times 100\% = 3,6\%$$

Maka jatuh tegangan dari GI Binjai hingga LDC AVR adalah : $(\Delta V)\% = 3,6\%$

$$\Delta V = \frac{3,6}{100} \times 20000 = 722,49 V = 0,7 kV$$

$$\Delta V \text{ pu} = \frac{722,49}{20000} = 0,036124 \text{ pu}$$

- Dengan panjang saluran 100 % :
100% x 40 = 40 km

$$(\Delta V)\% = \frac{S.L.(r.\cos\varphi + x.\sin\varphi)}{10.V^2} .100\%$$

$$(\Delta V)\% = \frac{13.10^6.40.(0,2250.0,85 + 0,3002.0,52)}{10.20000^2} .100\%$$

$$(\Delta V)\% = 0,04515 \times 100\% = 4,5\%$$

Maka jatuh tegangan dari GI Binjai hingga LDC AVR adalah : $(\Delta V)\% = 4,5\%$

$$\Delta V = \frac{4,5}{100} \times 20000 = 903,12 V = 0,9 kV$$

$$\Delta V \text{ pu} = \frac{903,12}{20000} = 0,04515 \text{ pu}$$

b. Penyetelan R_{set} dan X_{set} dari LDC AVR

Diketahui data sebagai berikut :

- A = 150 mm² AAAC
- $Z_{saluran} = 0,2250 + j 0,3305 \Omega / \text{Km}$
- $L_{saluran}$ dari lokasi alat pengatur sampai ujung saluran adalah 70 – 40 = 30 Km

Tabel 1. Impedansi ($Z_{saluran}$) pada % Panjang Saluran

% Panjang Saluran	Impedansi ($Z_{saluran}$)
20	20% x 30 x (0,2250 + j 0,3002 Ω / Km) = 1,35 + j1,8012
40	40% x 30 x (0,2250 + j 0,3002 Ω / Km) = 2,7 + j3,6024
60	60% x 30 x (0,2250 + j 0,3002 Ω / Km) = 4,05 + j5,4036
80	80% x 30 x (0,2250 + j 0,3002 Ω / Km) = 5,4 + j7,2048
100	100% x 30 x (0,2250 + j 0,3002 Ω / Km) = 6,75 + j9,006

- Dengan panjang saluran : 20 %

Impedansinya:

$$Z_e = L(R + j X) \quad \Omega$$

$$Z_e = 20\% \times 30 \times (0,2250 + j 0,3002 \Omega / \text{Km})$$

$$Z_e = 1,35 + j1,8012 \Omega$$

Atau

$$r_e = 1,35 \Omega$$

$$x_e = 1,8012 \Omega$$

Maka penyetingan R_{set} dan X_{set} :

$$R_{set} = \frac{TA_p}{a} .r_e$$

$$R_{set} = \frac{400A}{200} \times 1,35 \Omega = 2,7 \text{ volt}$$

$$R_{set \text{ pu}} = \frac{2,7}{20000} = 0,000135 \text{ pu}$$

Untuk :

$$X_{set} = \frac{TA_p}{a} .x_e$$

$$X_{set} = \frac{400A}{200} \times 1,8012 \Omega = 3,6024 \text{ Volt}$$

$$X_{set \text{ pu}} = \frac{3,6024}{20000} = 0,00018012 \text{ pu}$$

- Dengan panjang saluran : 40 %

Impedansinya:

$$Z_e = L(R + j X) \quad \Omega$$

$$Z_e = 40\% \times 30 \times (0,2250 + j 0,3002 \Omega / \text{Km})$$

$$Z_e = 2,7 + j3,6024 \Omega$$

Atau

$$r_e = 2,7 \Omega$$

$$x_e = 3,6024 \Omega$$

Maka penyetingan R_{set} dan X_{set} :

$$R_{set} = \frac{TA_p}{a} .r_e$$

$$R_{set} = \frac{400A}{200} \times 2,7 \Omega = 5,4 \text{ Volt}$$

$$R_{set \text{ pu}} = \frac{5,4}{20000} = 0,00027 \text{ pu}$$

Untuk :

$$X_{set} = \frac{TA_p}{a} \cdot x_e$$

$$X_{set} = \frac{400A}{200} \times 3,6024 \Omega = 7,2048 \text{ Volt}$$

$$X_{set pu} = \frac{7,2048}{20000} = 0,00036024 \text{ pu}$$

- Dengan panjang saluran : 60 %

Impedansinya:

$$Z_e = L(R + j X) \Omega$$

$$Z_e = 60\% \times 30 \times (0,2250 + j 0,3002 \Omega/ \text{Km})$$

$$Z_e = 4,05 + j5,4036 \Omega$$

Atau

$$r_e = 4,05 \Omega$$

$$x_e = 5,4036 \Omega$$

Maka penyetingan R_{set} dan X_{set} :

$$R_{set} = \frac{TA_p}{a} \cdot r_e$$

$$R_{set} = \frac{400A}{200} \times 4,05 \Omega = 8,1 \text{ Volt}$$

$$R_{set pu} = \frac{8,1}{20000} = 0,000405 \text{ pu}$$

Untuk :

$$X_{set} = \frac{TA_p}{a} \cdot x_e$$

$$X_{set} = \frac{400A}{200} \times 5,4036 \Omega = 10,8072 \text{ Volt}$$

$$X_{set pu} = \frac{10,8072}{20000} = 0,00054036 \text{ pu}$$

- Dengan panjang saluran : 80 %

Impedansinya:

$$Z_e = L(R + j X) \Omega$$

$$Z_e = 80\% \times 30 \times (0,2250 + j 0,3002 \Omega/ \text{Km})$$

$$Z_e = 5,4 + j7,2048 \Omega$$

Atau

$$r_e = 5,4 \Omega$$

$$x_e = 7,2048 \Omega$$

Maka penyetingan R_{set} dan X_{set} :

$$R_{set} = \frac{TA_p}{a} \cdot r_e$$

$$R_{set} = \frac{400A}{200} \times 5,4 \Omega = 10,8 \text{ Volt}$$

$$R_{set pu} = \frac{10,8}{20000} = 0,00054 \text{ pu}$$

Untuk :

$$X_{set} = \frac{TA_p}{a} \cdot x_e$$

$$X_{set} = \frac{400A}{200} \times 7,2048 \Omega = 14,4096 \text{ Volt}$$

$$X_{set pu} = \frac{14,4096}{20000} = 0,00072048 \text{ pu}$$

- Dengan panjang saluran : 100 %
Impedansinya:

$$Z_e = L(R + j X) \text{ ohm}$$

$$Z_e = 100\% \times 30 \times (0,2250 + j 0,3002 \Omega/ \text{Km})$$

$$Z_e = 6,75 + j9,006 \Omega$$

Atau

$$r_e = 6,75 \Omega$$

$$x_e = 9,006 \Omega$$

Maka penyetingan R_{set} dan X_{set} :

$$R_{set} = \frac{TA_p}{a} \cdot r_e$$

$$R_{set} = \frac{400A}{200} \times 6,75 \Omega = 13,5 \text{ Volt}$$

$$R_{set pu} = \frac{13,5}{20000} = 0,000675 \text{ pu}$$

Untuk :

$$X_{set} = \frac{TA_p}{a} \cdot x_e$$

$$X_{set} = \frac{400A}{200} \times 9,006 \Omega = 18,012 \text{ Volt}$$

$$X_{set pu} = \frac{18,012}{20000} = 0,0009006 \text{ pu}$$

Tabel 2. Hasil perhitungan pemasangan LDC pada % panjang saluran yang disuplai dari gardu induk Binjai

% Panjang Saluran	ΔV pu	R_{set}	X_{set}
20	0,00903 pu	2,7	3,6024
40	0,01806 pu	5,4	7,2048
60	0,02709 pu	8,1	10,8072
80	0,03612 pu	10,8	14,4096
100	0,04515 pu	13,5	18,012

IV. KESIMPULAN

1. AVR dapat bekerja dengan sempurna dan stabil, salah satunya tidak terlepas dari fungsi rangkaian Penyeimbang penurunan saluran (Line drop compensation).
2. Line drop compensator adalah komponen yang terdiri atas resistansi dan reaktansi yang dipakai untuk menjaga agar tegangan pengumpan tetap konstan pada satu titik yang jauh dari transformator terregulasi.
3. Penggunaan LDC AVR yang ada di PT.PLN ((Persero) Cabang Binjai wilayah kerja Ranting Stabat yang di suplai dari Gardu Induk Binjai dapat bekerja sesuai dengan fungsinya karena dapat menaikkan tegangan sebesar jatuh tegangan yang terjadi pada titik sasaran pengaturan.
4. LDC dapat bekerja apabila VRR merasakan perubahan dari tegangan settingnya melalui CT dan PT atau VRR tidak akan bekerja memberi

- instruksi ke LDC jika tidak ada perubahan arus beban atau tegangan yang diterima VRR masih sama dengan setting yang ditentukan sebelumnya.
5. Perubahan persentase panjang saluran terhadap jarak LDC ke ujung saluran dapat mempengaruhi jatuh tegangan semakin besar persentase panjang saluran diikuti dengan makin besarnya jatuh tegangan pada jaringan distribusi.
 6. Rset dan Xset adalah sebagai fungsi terhadap persentase panjang saluran dengan kata lain persentase panjang saluran dapat mempengaruhi Rset dan Xset dalam arti jarak LDC ke ujung saluran makin besar akan diperoleh nilai Rset dan Xset yang semakin besar.
 7. Dengan adanya kenaikan jatuh tegangan, Rset dan Xset akan dihasilkan rugi-rugi daya semakin besar pada jaringan distribusi.
 8. Dari hasil perhitungan pada panjang saluran bahwa hanya 40 km jarak yang memungkinkan untuk pemasangan AVR.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] AS Pabla, 1981, *Electric Power Distribution System*, Mc Graw Hill Publishing Company Ltd, New Delhi.
- [2] *Buku Petunjuk Operasi dan Pemeliharaan Peralatan*, no. O &M : 01/BTG/KJJ/1981, Perusahaan Umum Listrik Negara
- [3] Edison, 1999, *VR-32 Regulator and CL-4C Control Instalation Operation Maintenance Instruction Part Replacement Informations*, Mc. Graw Hill .
- [4] Kadir, Abdul, 1998, *Transmisi Tegangan Listrik*, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- [5] R.A. Dewberry, P.E, 1982, *Electric Distribution System*, Mc Graw Hill Publishing Company, New York.
- [6] Turan Gonen, 1986, *Electrical Power Distribution System Engineering*, Mc. Graw Hill Book Company.
- [7] Zuhail, 1991, *Dasar Tenaga Listrik*, Edisi 2, Penerbit ITB, Bandung.