

# PERBANDINGAN PENGARUH PENEMPATAN ARRESTER SEBELUM DAN SESUDAH FCO SEBAGAI PENGAMAN TRANSFORMATOR 3 PHASA TERHADAP GANGGUAN SURJA PETIR DI PENYULANG PANDEAN LAMPER 5 RAYON SEMARANG TIMUR

Azis Nurrochma Wardana, Arkhan Subari  
Program Studi Diploma III Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

## ABSTRACT

*Azis Nurrochma Wardana, Arkhan Subari, in paper comparison of the effect of placement arrester before and after FCO as safety of 3 phase transformer from interruption of lightning at Pandean Lamper 5 Feeder, East Semarang explain that problem of the studied is location of arrester at distribution which have is same function and target but owning location of different arrester. Location of arrester relate to wiring of arrester with transformer and fuse Cut Out (FCO) owning target to give protection at transformer of over voltage. In the last location of this arrester require to study again about its efficacy of its at transformer. Efficacy of protection at such transformer is efficacy of passed to protection is transformer by minimizing over voltage that happened at the transformer so that equipments and transformer which its of him do not experience of damage. By considering factor influencing the level of voltage of surge and current of surge that happened at each system, like wiring of arrester, length of wire, apart arrester which is utilized in system location of arrester, steepness of wave come, speed creep waving surge, and Basic Insulation Level (BIL) equipments, so that is in the final got one of location of correct arrester as 20 kV distribution transformer protection.*

**Keywords:** Arrester, Distribution Transformer, Fuse Cut Out, Lightning Surge

## PENDAHULUAN

Gardu distribusi merupakan salah satu komponen dari suatu sistem distribusi yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen atau untuk mendistribusikan tenaga listrik pada konsumen tegangan menengah maupun tegangan rendah. Sehingga gardu distribusi merupakan komponen yang penting dalam suatu sistem distribusi dan membutuhkan keandalan tinggi.

Salah satu komponen pada gardu distribusi adalah trafo yang berfungsi sebagai penurun tegangan (*step down transformer*), yang menurunkan tegangan 20 kV (tegangan menengah) menjadi 400/230 V (tegangan rendah). Karena trafo terhubung dengan saluran udara 20 kV dan penempatannya di tempat terbuka sehingga pada trafo dapat terjadi gangguan tegangan lebih akibat sambaran petir secara langsung atau sambaran petir tidak langsung (induksi). Sambaran petir akan menimbulkan tegangan lebih yang tinggi melebihi kemampuan isolasi trafo sehingga dapat menyebabkan kerusakan isolasi yang fatal.

Terdapat 2 metode penempatan Arrester dan FCO sebagai proteksi pada gardu distribusi di Semarang Timur yaitu penempatan Arrester sebelum FCO dan penempatan Arrester setelah FCO. Masing-masing metode memiliki dampak yang berbeda dalam mengatasi gangguan tegangan implus petir yang datang.

Oleh karena itu pada penelitian ini akan dibahas mengenai pengaruh penempatan Arrester dan FCO sebagai proteksi trafo distribusi terhadap gangguan tegangan impuls petir dan akan

didapatkan metode penempatan yang tepat sebagai proteksi transformator distribusi.

## TINJAUAN PUSTAKA

Referensi pertama diperoleh dari buku Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja ditulis oleh Ir. T. S Hutaeruk M.E.E. buku ini berisi tentang pengertian gelombang berjalan surja petir, pengertian proteksi petir serta perhitungan tentang gelombang petir yang datang. Selain itu untuk pedoman pemakain *arrester* yang digunakan pada jaringan tegangan menengah PLN terutama yang digunakan untuk proteksi transformator menggunakan pedoman Panduan Praktis Pemilihan Tingkat Pengenal *Lightning Arrester* Untuk Sistem Tenaga Listrik yang disusun oleh Dr. Reynaldo Zoro serta SPLN no 7 tahun 1978 tentang Pedoman Pemilihan Tingkat Isolasi Transformator dan Penangkap Petir.

Di Penyulang PDL 5 terdapat 2 sistem penempatan *arrester* dan FCO pada transformator yaitu penempatan *arrester* sebelum FCO dan penempatan *arrester* setelah FCO. Oleh karena itu dari sumber tinjauan pustaka tersebut akan dibahas mengenai bagaimana pengaruh gangguan surja petir terhadap perbedaan penempatan arrester dan FCO sebagai pengaman gardu distribusi dengan memperhitungkan besarnya tegangan surja petir yang lolos ke trafo distribusi dan bagaimana kinerja *arrester* dan FCO ketika terjadi gangguan petir. Sehingga diharapkan tugas akhir ini dapat menjadi bahan pemikiran untuk mendapatkan penempatan arrester yang tepat dan efektif guna melindungi gardu distribusi terhadap gangguan surja petir.

## LANDASAN TEORI

Menurut Hutaeruk (1988) terdapat 2 tipe sambaran petir yaitu sambaran langsung dan sambaran tidak langsung. Yang dimaksud dengan sambaran langsung adalah apabila kilat menyambar langsung pada kawat fasa (untuk saluran tanpa kawat tanah) atau pada kawat tanah (untuk saluran dengan kawat tanah). Sedangkan sambaran tidak langsung (sambaran induksi) terjadi bila sambaran kilat ke tanah di dekat saluran maka akan terjadi fenomena transien yang diakibatkan oleh medan elektromagnetis dari kanal kilat.

Suatu gelombang berjalan (*surge*) dinyatakan sebagai:

$$E, t_2/t_1$$

Dimana :

E : Tegangan puncak

$t_2/t_1$  : Rasio muka gelombang terhadap ekor gelombang surja

Pada kawat di udara, kecepatan merambat ini kira-kira 300 meter per mikro detik jadi sama dengan kecepatan cahaya (Hutaeruk, 1988). Lalu impedansi surja ( $z$ ) untuk hantaran udara diperoleh (Purnomo, Hery; & Shidiq, Mahfudz. 2010) :

$$z = 60 \ln \frac{2h}{r} \text{ ohm}$$

Sedangkan besarnya impedansi surja untuk kawat berisolasi adalah :

$$z = \frac{60}{\sqrt{\epsilon}} \ln \frac{R}{r} \text{ ohm}$$

Dimana :

Z : impedansi surja kabel ( $\Omega$ )

E : permitivitas (2,5 - 4)

R : jari-jari penghantar dari inti sampai luar isolasi (mm)

r : jari-jari penghantar dari inti konduktor (mm)

Menurut Sarimun (2012) *Arrester* atau biasa juga disebut *Lightning Arrester* adalah suatu alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir (*surge*) dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ke tanah. Dipasang pada atau dekat peralatan yang dihubungkan dari fasa konduktor ke tanah. Ketika sebuah surja sampai pada kawat distribusi dan dilewatkan pada piringan-pirangan yang tak linear, tahanan katup elemen berubah turun secara cepat, sehingga tegangan turun dibatasi meskipun arusnya besar.

$$R = N.K.I^{-b}$$

Dimana :

K : 4650 ;

B : 0.72 (Suswanto, Daman. 2009)

Sistem pentanahan pada gardu distribusi di penyulang Pandan Lamper 5 dianggap sebagai

sistem pentanahan yang efektif, jadi dapat diambil perhitungan:

$$U_a = 0,8 \times 1,1 \times \text{tegangan nominal}$$

Dimana  $U_a$  = Tegangan *Arrester* Besarnya arus pelepasan *arrester* adalah

$$I = \frac{2e - U_a}{Z}$$

Dimana :

I : Arus pelepasan *arrester* (A)

e : tegangan surja yang datang (kV)

$U_a$  : Tegangan *pelepasan arrester* (kV)

Z : Impedansi surja saluran ( $\Omega$ )

Untuk menentukan besarnya perubahan tegangan pada *arrester* ( $E_s$ ) ketika tegangan impuls melewati *arrester*, diperoleh dengan menggunakan persamaan (Zoro, 2011) :

$$e_s = U_0 + (IxR) + L \frac{di}{dt}$$

Dimana :

$e_s$  : Perubahan tegangan pada *arrester* (kV/ $\mu$ s)

$U_0$  = Tegangan *arrester* pada saat arus 0 (*Maximal Discharge voltage*) (kV)

I : Arus pelepasan (kA)

R : Tahanan *arrester* ( $\Omega$ )

L : Induktansi penghantar *arrester* ( $\mu$ H)

$\frac{di}{dt}$  : Kenaikan arus penghantar (kA/ $\mu$ s)

## CARA PENGAMATAN

Bahan pengamatan merupakan komponen yang digunakan untuk memperoleh perhitungan guna mencapai suatu tujuan. Bahan pengamatan yang dibutuhkan adalah Data Gardu Distribusi PDL 5, *Lightning Arrester*, *Fuse Cut Out* dan *Fuse Link*.

Dalam mengumpulkan data yang diperlukan, dilakukan serangkaian kegiatan. Diantaranya melakukan survey lapangan di penyulang Pandan Lamper 5 untuk mendata secara manual jumlah trafo 3 fasa yang ada, serta bagaimana penempatan *arrester* terhadap trafo tersebut. Selain itu juga berdiskusi dengan pegawai Rayon Semarang Timur mengenai masalah yang diteliti. Agar proses pengumpulan data dapat berjalan dengan baik diperlukan instrumen yang mendukung. Instrumen yang dipakai adalah Alat Tulis, laptop dan kamera.

Langkah-langkah yang dilakukan untuk mendapatkan data yang diperlukan meliputi beberapa metode, yaitu meliputi :

- Studi literatur
- Pengambilan data
- Perhitungan data
- Menarik kesimpulan

Data-data yang telah didapatkan digunakan sebagai bahan perhitungan terhadap masing-masing sistem penempatan *arrester* sehingga tujuan dari penelitian ini dapat tercapai. Penelitian yang dilakukan meliputi hal-hal berikut:

- Menghitung impedansi surja saluran udara yang didasarkan pada ketinggian dan jari-jari kawat dari saluran. Kemudian menghitung waktu tempuh gelombang surja dengan kecepatan rambat tertentu yang merambat pada kawat yang memiliki panjang tertentu sesuai keadaan di lapangan.
- Menghitung besarnya gelombang tegangan surja sebagai fungsi waktu yang terjadi pada arrester dan trafo dengan metode pantulan berulang pada masing-masing sistem penempatan arrester. Dan kemudian menentukan tegangan surja tertinggi yang terjadi pada arrester dan trafo tersebut.
- Menghitung nilai puncak minimal tegangan surja datang pada sistem yang membuat arrester bekerja atau tepercik pada masing-masing sistem penempatan arrester.
- Menentukan sistem penempatan arrester yang mempunyai nilai tegangan surja yang kecil pada arrester dan trafo.

Selanjutnya hasil perhitungan yang mengacu pada tujuan penelitian disimpulkan, yaitu untuk mendapatkan sistem penempatan arrester yang efektif sebagai proteksi trafo distribusi 20 kV pada gardu trafo tiang.

#### HASIL PENGAMATAN DAN PEMBAHASAN

Penghitungan tegangan surja pada perhitungan menggunakan surja petir dengan tegangan sebesar 200 kV/μs ( $e_1$ ). Besarnya tegangan surja yang masuk ke sisi jumper ( $e_2$ ), diperoleh dengan persamaan (SPLN 7. 1987) :

$$\begin{aligned} e_2 &= \frac{2z_{p1}}{z_{p1} + z_2} e_1 \\ &= \frac{2 \times 43,4775}{43,4775 + 47,8231} \times 200 \\ &= 190,4762 \text{ kV}/\mu\text{s} \end{aligned}$$

Pada Sistem Penempatan *Arrester* sebelum FCO besarnya arus pelepasan *arrester* (I)

$$\begin{aligned} I &= \frac{2e - E_a}{Z} \\ &= \frac{(2 \times 190,4762) - 73}{47,8321} \\ &= 6,43941 \text{ kA} \\ &= 163,0276 \text{ kV}/\mu\text{s} \end{aligned}$$

Lalu sisa dari tegangan surja yang sudah dilepaskan dan masih mengalir di kabel jumper ( $e_R$ ) :

$$e_R = e - e_S$$

$$\begin{aligned} &= 190,4762 - 163,0276 \\ &= 27,4485 \text{ kV}/\mu\text{s} \end{aligned}$$

Besarnya tegangan surja yang melalui kawat *fuselink* ( $e_F$ ) diperoleh dengan persamaan (SPLN 7. 1987) :

$$\begin{aligned} e_F &= \frac{2z}{z_2 + z_F} e_R \\ &= \frac{2 \times 81,5159}{47,8231 + 81,5159} \times 27,4485 \\ &= 34,5359 \text{ kV}/\mu\text{s} \end{aligned}$$

Setelah melewati kawat *fuselink*, tegangan surja ini akan kembali melewati kabel jumper ( $e_{ST}$ ) sehingga tegangannya berubah lagi yaitu

$$\begin{aligned} e_{ST} &= \frac{2z_2}{z_2 + z_{FCO}} e_{FCO} \\ &= \frac{2 \times 47,8231}{47,8231 + 81,5159} \times 34,5359 \\ &= 25,6185 \text{ kV}/\mu\text{s} \end{aligned}$$

Dengan diketahui koefisien refraksi dan refleksi pada trafo dan FCO adalah

$$\text{Koefisien refraksi C} : \frac{2z_2}{z_{FCO} + z_2} = 0,7418$$

$$\text{Koefisien Refleksi C} : \frac{z_2 - z_f}{z_2 + z_f} = -0,2582$$

$$\text{Koefisien refraksi T} : \frac{2z_T}{z_T + z_2} = 1,1346$$

$$\text{Koefisien Refleksi T} : \frac{z_T - z_2}{z_T + z_2} = -0,1346$$

Sehingga total tegangan surja yang masuk ke sisi primer trafo selama petir berlangsung adalah sebesar 30,1135 kV/μs.

Pada Sistem Penempatan *Arrester* Setelah FCO tegangan impuls yang masuk ke kawat *fuselink* ( $e_F$ ) :

$$\begin{aligned} e_F &= \frac{2z_F}{z_2 + z_F} e_2 \\ &= \frac{2 \times 81,1159}{47,8231 + 81,1159} \times 190,4762 \\ &= 239,6582 \text{ kV}/\mu\text{s} \end{aligned}$$

Tegangan dari sisi kawat *fuselink* ini akan kembali menemui sisi jumper sehingga besarnya tegangan yang kembali ke sisi jumper ( $e_{SA}$ ) sebesar:

$$\begin{aligned} e_{SA} &= \frac{2z_2}{z_2 + z_F} e_F \\ &= \frac{2 \times 47,8231}{47,8231 + 81,1159} \times 239,6582 \\ &= 177,7771 \text{ kV}/\mu\text{s} \end{aligned}$$

Sedangkan arus pelepasan *arrester* (I) adalah:

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{2e - E_a}{Z} \\
 &= \frac{(2 \times 177,7771) - 73}{47,8321} \\
 &= 5,9083 \text{ kA}
 \end{aligned}$$

Sehingga besarnya tegangan yang dilepaskan arrester ke tanah ( $e_s$ ) adalah dengan :

$$\begin{aligned}
 e_s &= U_0 + (IxR) + L \frac{di}{dt} \\
 &= 42,3 + (5,9083 \times 17,90725) + (0,4115 \times 30) \\
 &= 160,4468 \text{ kV}/\mu\text{s}
 \end{aligned}$$

Setelah tegangan di *chop* oleh arrester sebesar 171,9938 kV, maka tegangan yang masih mengalir pada kabel ( $e_R$ ) adalah sebesar

$$\begin{aligned}
 e_R &= e - e_s \\
 &= 190,4762 - 160,4468 \\
 &= 17,33035 \text{ kV}/\mu\text{s}
 \end{aligned}$$

Akhirnya dengan diagram pantul diperoleh bahwa tegangan total ( $V_{TOTAL}$ ) yang masuk ke sisi primer trafo adalah sebesar 20,3711 kV

## KESIMPULAN

- Perbedaan penempatan *fuse cut out* terhadap *arrester* pada trafo distribusi 3 *phase* mempengaruhi tegangan yang lolos dari pelepasan *arrester*
  - Pada sistem pemasangan *fuse cut out* sebelum *arrester*, tegangan yang menerpa FCO hanya 27,4485 kV/ $\mu$ s, sehingga FCO masih aman karena masih di bawah BIL FCO yaitu 125 kV.
  - Pada sistem pemasangan *fuse cut out* sebelum *arrester*, menghasilkan tegangan surja yang lolos ke sisi primer trafo sebesar 30,1135 kV/ $\mu$ s. Nilai ini masih di bawah BIL trafo sebesar 125 kV, sehingga trafo masih aman.
  - Pada sistem pemasangan *fuse cut out* sesudah *arrester*, tegangan surja yang menerpa FCO adalah sebesar 190,4762 kV/ $\mu$ s, sehingga FCO akan rusak karena melebihi dari BIL FCO yaitu 125 kV
  - Pada sistem pemasangan *fuse cut out* sesudah *arrester*, menghasilkan tegangan surja yang lolos ke sisi primer trafo sebesar 20,3711 kV/ $\mu$ s. Nilai ini masih di bawah BIL trafo sebesar 125 kV, sehingga trafo masih aman.
- Tegangan surja yang lolos ke sisi primer trafo pada sistem pemasangan *fuse cut out* sesudah *arrester* lebih kecil daripada sistem pemasangan *fuse cut out* sebelum *arrester*.
- Perubahan tegangan *arrester* pada tiap sistem penempatan memiliki kesamaan yaitu 163,0276 kV/ $\mu$ s dan 160,4468 kV/ $\mu$ s sehingga arrester bekerja maksimal pada tiap penempatan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Hutaeruk. 1988. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Jakarta: Erlangga
2. Purnomo, Hery; & Shidiq, Mahfudz. 2010. *Analisa Perambatan Gelombang Surja Berjalan Pada Belitan Trafo Distribusi*. Jurnal EECCIS Volume 4, Nomor 2. Malang: Universitas Brawijaya Malang
3. Sarimun, Wahyudi. 2012. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Depok: Garamond
4. SPLN 7. 1987. *Pedoman Pemilihan Tingkat Isolasi Transformator dan Penangkap Petir*. Jakarta: PLN.
5. Zoro, R. 2011. *Lightning Arrester Pada Jaringan Transmisi & Distribusi Tenaga Listrik*. Bandung: ITB