

## Studi Penempatan Arrester di PT. PLN (Persero) Area Bintaro

**Badaruddin**

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana  
 JL. Raya Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta, 11650  
 Telepon: 021-5857722 (hunting), 5840816 ext. 2600 Fax: 021-5857733

**Abstrak** - Pada umumnya bila arus gangguan itu sebesar 5A atau lebih kecil busur listrik yang timbul pada kontak-kontak antara kawat yang terganggu dan bumi masih dapat padam sendiri (Self Extinguishing). Tetapi sistem-sistem tenaga itu makin lama makin besar baik panjangnya maupun tenaganya. Dengan demikian arus yang timbul bila terjadi lagi gejala-gejala "Arching Grounds" semakin menonjol. Gejala ini sangat berbahaya karena akan menimbulkan tegangan lebih transient yang dapat merusak alat-alat.

Yang dimaksud dengan Effective Grounding adalah pembumian dimana perbandingan antara reaktansi urutan positif lebih kecil atau sama dengan tiga, dan perbandingan tahanan urutan nol dan reaktansi urutan positif lebih kecil atau sama dengan satu ( $X_0/X_1 \leq 3; X_1 \leq 1$ ).

Kata kunci : Self Extinguishing, Arching Ground, Effective Grounding

### PENDAHULUAN

Mulai abad-20, pada saat sistem-sistem tenaga mulai besar sistem-sistem itu tidak lagi dibiarkan terisolasi (Isolated) yang dinamakan system delta tetapi titik netral system itu dibumikan melalui tahanan atau reaktansi. Pembumian itu umumnya dilakukan dengan menghubungkan netral transformator ke bumi.

Pada umumnya di Indonesia, memakai jaringan transmisi tegangan tinggi. Indonesia yang terletak pada daerah khatulistiwa mempunyai jumlah hari guruh sangat tinggi. Di pulau Jawa jumlah hari guruh berkisar antara 90 – 200an. Sumber gangguan yang paling besar disalurkan transmisi adalah gangguan sambaran kilat dan kemudian menyusul karena gangguan alam lainnya.

### TEORI DASAR

#### Sumber-Sumber Gelombang Berjalan

Sampai saat ini sebab-sebab dari gelombang berjalan yang di ketahui ialah :

1. Sambaran kilat secara langsung pada kawat fasa
2. Sambaran kilat tidak langsung pada kawat fasa (Induksi)
3. Operasi hubung (Switching Operation)
4. Gangguan-gangguan pada sistem oleh berbagai kesalahan
5. Tegangan steady state

#### Spesifikasi dari Gelombang

Spesifikasi dari suatu gelombang berjalan :

1. Tegangan puncak (Crest) dari gelombang, E (KV), yaitu amplitude maksimum dari gelombang.
2. Muka gelombang (Front),  $t_1$  (mikrodetik), yaitu waktu dari permulaan sampai puncak.
3. Ekor gelombang (Tail) yaitu bagian kebelakang puncak. Panjang gelombang (Lenght)  $t_2$  (mikrodetik) yaitu waktu dari permulaan sampai titik 50% E pada tail.
4. Polaritas (Polarity) yaitu polaritas dari gelombang positif atau negative. Suatu gelombang berjalan (surja) dinyatakan sebagai berikut :  
 $E, t_1 \times t_2$

Jadi suatu gelombang dengan polaritas positif, crest = 1000 KV, front 3 mikrodetik, dan panjang 21 mikrodetrik dinyatakan sebagai : + 1000, 3 x 21.

#### Dasar Pembumian

Tujuan pembumian pada dasarnya adalah :

1. Ditujukan pada titik netral dan pembumian umum, dimaksudkan untuk mengurangi besar tegangan lebih surja dan mengontrol besarnya arus hubungan singkat.
2. Untuk membatasi tegangan-tegangan pada fasa-fasa yang tidak terganggu (sehat).

**Sistem pembumian dengan tahanan**

Rele deteksi hubung singkat tanah yang digunakan untuk sistem ini adalah rele tegangan urutan nol, rele arus lebih tanah dan rele arah tanah (ground fault relay) kedua rele terakhir ini harus mempunyai kepekaan yang tinggi dan harus dapat bekerja dengan daya (arus) yang rendah, karena tahanan yang tinggi dan adanya tahanan titik hubung singkat membatasi besarnya arus hubung singkat.

**Sistem pembumian dengan Gulungan Petersen**

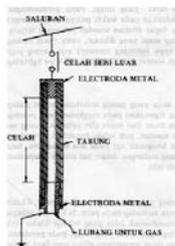
Sistem ini baik sekali guna menanggulangi hubung-singkat satu fasa ke tanah yang sifatnya sementara karena dapat mematikan busur api yang disebabkan oleh hubung singkat itu. Tetapi untuk hubung singkat yang tetap (permanent) sukar sekali melihat adanya hubung singkat itu dari arus urutan nol yang mengalir.

**Rele gangguan tanah (Ground fault relay)**

Rele gangguan tanah akan berhasil dengan baik, tergantung dari besarnya arus gangguan ke tanah. Sistem yang netralnya di bumikan dengan reaktansi. Pada umumnya arus gangguan tanah besarnya berada pada batas-batas (25%-100%) dari arus gangguan 3 fasa. Sistem yang dibumikan dengan tahanan, arus gangguan tanah besarnya 10%-25% dari gangguan 3 fasa.

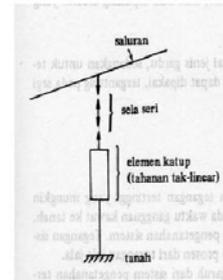
**PELINDUNG SALURAN TRANSMISI Lightning Arrester jenis Ekspulsi atau Tabung Pelindung**

Arrester ini banyak digunakan pada saluran transmisi untuk membatasi besar surja yang memasuki gardu induk.



Gambar 1. Elemen-elemen arrester jenis ekspulsi atau tabung.

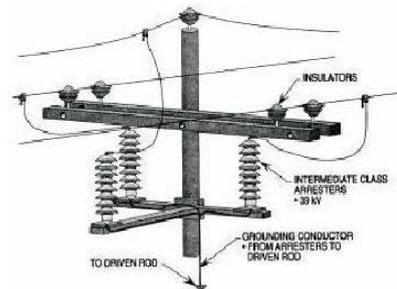
**Lightning Arrester jenis katup**



Gambar 2 Elemen-elemen arrester jenis katup.

Arrester jenis katup ini dibagi dalam empat jenis :

1. **Arrester katup jenis gardu.**  
Umumnya dipakai untuk melindungi alat-alat yang mahal pada rangkaian 2,4 kV sampai 287 Kv
2. **Arrester katup jenis saluran.**  
Arrester jenis saluran ini lebih murah dari arrester jenis gardu induk. Arrester jenis ini dipakai pada saluran dengan tegangan 15 kV sampai 69 kV



Gambar 3. Lightning arrester katup jenis saluran.

3. **Arrester katup jenis gardu untuk mesin-mesin.**  
Arrester jenis gardu ini khusus untuk melindungi mesin-mesin berputar. Pemakaiannya untuk tegangan 2,4 kV sampai 15 kV.
4. **Arrester katup jenis Distribusi untuk mesin-mesin.**  
Arrester ini khusus dipakai untuk melindungi mesin-mesin berputar dengan tegangan 120 volt sampai 750 volt..

**Kegagalan arrester**

Kegagalan arrester untuk mengalirkan tegangan lebih ke tanah akan mengakibatkan rusaknya peralatan pada

gardu. Beberapa factor yang mengakibatkan gagalnya arrester bekerja untuk mengamankan peralatan dari tegangan lebih yaitu :

1. Tahanan pada arrester
2. Tabung arrester
3. Tegangan dasar maksimum
4. Penurunan tingkat isolator.

**Karakteristik lokasi arrester dengan tingkat isolasi peralatan yang dilindungi.**

Perlindungan yang baik diperoleh bila arrester ditempatkan sedekat mungkin pada jepitan transformator. Tetapi, dalam praktek sering arrester itu harus ditempatkan dengan jarak S dari transformator yang dilindungi. Karena itu, jarak tersebut ditentukan agar perlindungan dapat berlangsung dengan baik. Contoh:

- Ea =Tegangan percik arrester (arrester sparkover voltage)
- Ep =Tegangan pada jepitan transformator
- A = de/dt = Kecuraman gelombang datang dan dianggap konstan
- S =Jarak antara arrester dan transformator
- V = Kecepatan merambat gelombang

Apabila transformator dianggap jepitan terbuka, yaitu keadaan yang paling bahaya dan gelombang mencapai transformator maka akan terjadi pantulan total dan gelombang ini kembali ke kawat saluran dengan polaritas yang sama, waktu yang dibutuhkan oleh gelombang untuk merambat kembali ke arrester = 2 S/v. Bila arrester mulai memercik (sparkover) tegangan jepitan arrester :

$$E_a = At + A(t-2S/v)$$

Bila waktu percik arrester t<sub>so</sub>, dihitung mulai gelombang itu pertama kali sampai ke arrester, maka dari persamaan di atas menjadi :

$$t_{so} = \frac{E_a + \frac{2AS}{v}}{2A}$$

Setelah terjadi percikan, maka arrester berlaku sebagai jepitan hubung singkat, dan menghasilkan gelombang sebesar :

$$-A(t - t_{so})$$

Gelombang negatif ini akan merambat ke transformator, dan setelah pantulan pertama pada transformator terjadi, jumlah tegangan pada transformator menjadi

$$E_p = 2At - 2A(t-t_{so}) = 2A t_{so} = 2A \frac{E_a + \frac{2AS}{v}}{2A}$$

Atau

$$E_p = E_a + 2AS/v$$

Harga maksimum E<sub>p</sub>=2E<sub>a</sub>

Bila tegangan tembus isolator trafo=E<sub>p(fo)</sub>, maka E<sub>p(fo)</sub> harus lebih besar dari (Ea+2AS/v) agar diperoleh perlindungan yang baik. Untuk mengubah harga E<sub>p</sub>, cukup dengan mengubah S, yaitu semakin kecil S maka semakin kecil E<sub>p</sub>

Data name plate yang terpasang pada arrester :

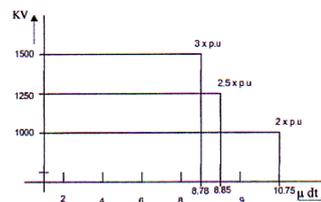
Pabrik	: BBC
Type	: HLMN 136
Tegangan nominal	: 136 kV
Jenis pemasangan	: Luar
Tahun pembuatan	: 1982
Waktu maksimal	: 8/20 sc
Frekuensi	: 50 Hz



Gambar 4 Bentuk Fisik Arrester type HLMN.

**PERHITUNGAN dan PEMILIHAN PENGENAL ARRESTER Hasil penelitian**

1. Waktu Percikan arester



Gambar 5 Grafik waktu percik arrester berdasarkan penelitian

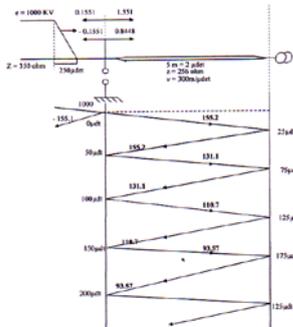
2. Simulasi diagram tangga untuk tegangan sebesar 2 x p.u (tegangan sistem)

Berdasarkan table factor tegangan lebih sementara dalam koordinasi yaitu untuk tegangan surja hubung dapat berlangsung selama 10-4000 μ detik, sedangkan besarnya tegangan adalah 1.5-3.5 p. μ detik,

sehingga simulasi diagram tangga untuk 2 x p.u adalah :

$$a = \frac{250-350}{256+350} = -0,1551 \quad ; a = \frac{2 \times 250}{256+350} = 0,8448$$

$$b = \frac{350-250}{256+350} = 0,1551 \quad ; b = \frac{2 \times 350}{256+350} = 1,1551$$



Gambar 6. Simulasi diagram tangga perlindungan arrester terhadap transformator.

**Perhitungan menentukan jarak maksimum arrester dan peralatan**

1. Waktu percik arrester

Berdasar diagram waktu percik arrester di atas, maka pada saat tergangg 2 x p.u adalah saat  $t = 10,75 \mu\text{det}$ , untuk 2,5 x p.  $\mu$  pada saat  $t = 8,78 \mu\text{det}$ , untuk 3 x p. u pada saat  $t = 8,75 \mu\text{det}$ .

2. Perhitungan jarak maksimum antara arrester dengan peralatan yang dilindungi  
 Dari hasil survey diketahui bahwa tegangan sistem peralatan adalah sebagai berikut, transformator 500 KV dengan TID 890 KV. Trafo ini dilindungi arrester dengan tegangan percik 560 KV, pada lecutan 10 KA, dengan jarak perlindungan terhadap peralatan adalah sejauh 38 meter, misalkan sebuah surja 1000 KV, merambat menuju peralatan yang dilindungi arrester dengan kecepatan 300 m/ $\mu\text{det}$ , berapakah jarak maksimum antara arster dan peralatan, sehingga semua peralatan itu terlindungi dari bahaya surja?

Diketahui.

- $E_p = 890 \text{ KV}$
- $E_a = 560 \text{ KV}$
- $A = 1000 \text{ KV}$
- $V = 300 \text{ m}/\mu\text{det}$

Ditanya : S (jarak maksimum antara arrester dengan peralatan) ?

Jawab :

$$a.. E_p = E_a + 2 \frac{AS}{v}$$

$$890 \text{ KV} = 560 \text{ KV} + \frac{1000 \text{ KV } S}{300}$$

$$S = 49 \text{ meter}$$

Jadi jarak menurut perhitungan antar arrester dengan peralatan adalah 49 meter. Pada hal dalam kenyataan di lapangan dipasang sejauh 38 meter, sehingga pemasangannya masih di bawah harga maksimum.

1. Analisis tegangan percik arrester

- $t = 0 \mu\text{det} \quad ; e = 0 \text{ KV}$
- $t = 2,5 \mu\text{det} \quad ; e = 155,2 \text{ KV}$
- $t = 5,0 \mu\text{det} \quad ; e = 155,2 \text{ KV}$
- $t = 7,5 \mu\text{det} \quad ; e = 155,2 + 155,2 + 131,1 = 441,51 \text{ KV}$
- $t = 10,0 \mu\text{det} \quad ; e = 441,51 \text{ KV}$
- $t = 12,5 \mu\text{det} \quad ; e = 441,51 + 131,11 + 110,76 = 683,398$

waktu percik arrester ( $t_{so}$ ) sebesar  $8 + \Delta t$

$$650 = 441,51 + 1,1551 \frac{131,11}{2}$$

$$208,49 = 75,72 \Delta t$$

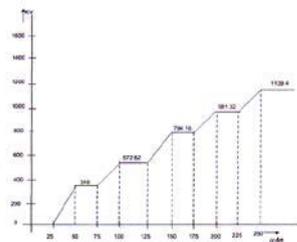
$$\Delta t = 2,75$$

$$\text{Jadi } t_{so} = 8 + 2,75 = 10,75 \text{ u det ik}$$

2. Naik tegangan pada transformator adalah sebagai berikut :

- $t = 0 \mu\text{det} \quad ; e = 0 \text{ KV}$
- $t = 2,5 \mu\text{det} \quad ; e = 0 \text{ KV}$
- $t = 5,0 \mu\text{det} \quad ; e = 310,4 \text{ KV}$
- $t = 7,5 \mu\text{det} \quad ; e = 310,4 \text{ KV}$
- $t = 10,0 \mu\text{det} \quad ; e = 310,4 + 262,22 = 572,62 \text{ KV}$
- $t = 12,5 \mu\text{det} \quad ; e = 572,62 \text{ KV}$
- $t = 20,0 \mu\text{det} \quad ; e = 794,18 \text{ KV}$
- $t = 22,5 \mu\text{det} \quad ; e = 794,18 + 187,14 = 981,32 \text{ KV}$
- $t = 25,0 \mu\text{det} \quad ; e = 981,32 \text{ KV}$
- $t = 27,5 \mu\text{det} \quad ; e = 981,32 + 158,08 = 1139,4 \text{ KV}$

Jadi tegangan maksimum pada transformator adalah sebesar = 1139,4 KV sehingga transformator masih aman, karena tegangan tersebut masih berada di bawah BIL transformator.



Gambar 7 Grafik tegangan pada transformator

Jadi menurut percobaan simulasi di atas naik tegangan yang terjadi berdasarkan waktu berlangsungnya tegangan lebih dalam surja hubung yaitu antara 10 – 4000 µdet, dengan besarnya antara 1.5 – 3.5 p.u (tegangan sistem) adalah sebesar 1471 KV, ini masih berada dibawah BIL dari transformator, yaitu sebesar 1550 KV, sehingga arrester masih mampu melindungi transformator tersebut.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Dari pembahasan pada bab-bab sebelumnya maka penulis mengambil beberapa kesimpulan antara lain :

1. Menurut perhitungan analisis, waktu berlangsungnya percikan arester masih berada dalam batas aman.
2. Dari hasil simulasi dan analisis matematis, jarak pemasangan optimum dari arester type HLMN mampu melindungi transformator dari gangguan surja hubung (switching).
3. Naik tegangan maksimum pada transformator adalah sebesar = 1139.4 KV sehingga transformator masih aman, karena tegangan tersebut masih berada di bawah TID transformator yaitu sebesar 1550 KV, sehingga arrester masih mampu melindungi transformator tersebut.

### Saran

Penulis memberikan saran bahwa pemakaian arrester dalam sistem tenaga listrik sangat baik digunakan karena mampu melindungi peralatan-peralatan sistem tenaga listrik dari arus hubung singkat dan dalam memilih arrester harus memperhatikan beberapa faktor diantaranya :faktor ekonomi, faktor kondisi luar dan kebutuhan perlindungan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Abdul M. Mousa, 1976, Shielding of High Voltage And Extra High Voltage Substation, IEEE Transaction on Power Apparatus and System; Vol. PAS-95.
2. Aris Munandar DR., 1978, Teknik Tegangan Tinggi, PT. Pradaya Paramita, Jakarta.
3. Aris Munandar DR., S. Kuwahara DR., 1975, Teknik Tenaga Listrik, Jilid II Saluran Transmisi, PT. Pradaya Paramita, Jakarta.
4. Hutauruk T. S., 1976. Pengetanahan Netral Sistem-sistem Tegangan Tinggi, Departemen Elektro Teknik Fakultas Teknologi Industri, ITB.