

ANALISA PENEMPATAN LIGHTNING ARESTER SEBAGAI PENGAMAN GANGGUAN PETIR DI GARDU INDUK LANGSA

Ramayulis Nasution, Yusmartato, Armansyah

Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Islam Sumatera Utara

ramayulis@ft.uisu.ac.id ; yusmartato@ft.uisu.ac.id ; armansyah@ft.uisu.ac.id

Abstrak

Jaringan transmisi dan distribusi saluran udara sering mengalami gangguan-gangguan, baik dari dalam maupun dari luar. Salah satu gangguan dari luar adalah surja petir. Demi mempertahankan kelangsungan penyaluran daya listrik dari sumber ke konsumen dan untuk melindungi peralatan-peralatan yang ada dalam sistem maka sangatlah perlu dilakukan pengamanan. Gangguan yang disebabkan oleh petir akan dapat menaikkan tegangan sampai beberapa kali tegangan nominal sistem tersebut, sehingga peralatan yang mempunyai rating tegangan tertentu akan terlampaui yang dapat merusak peralatan. Untuk mengatasi gangguan petir tersebut pada sisi masuk gardu induk (GI) dipasang pengaman petir yang dapat melindungi peralatan listrik yang digunakan sebagai kelangsungan penyaluran energi listrik ke konsumen. Di dalam tulisan ini diuraikan tentang lightning arrester sebagai salah satu alat pengamanan terhadap surja petir. Penguraian lebih lanjut adalah mengenai komponen-komponen arrester, cara kerja, karakteristik, penggunaan serta penentuan lokasi arrester terhadap peralatan yang dilindungi. Untuk mengetahui pengaruh lightning arrester yang dipasang pada gardu induk dibanding dengan yang tanpa memakai lightning arrester. Untuk mengetahui surja petir terhadap isolasi.

Kata-Kata Kunci: Gangguan, Surya Petir, Lightning Arrester

I. Pendahuluan

Dalam sistem tenaga listrik, gardu induk merupakan suatu tempat untuk mengumpulkan dan menyalurkan tenaga/energi listrik dari pembangkit ke konsumen melalui jaringan distribusi, serta merupakan peralatan transmisi tegangan yaitu dari tegangan tinggi ke tegangan menengah. Karena gardu induk bekerja pada sistem tegangan tinggi, maka gangguan yang disebabkan oleh tagangan lebih akibat sambaran petir, baik langsung maupun tidak langsung pada kawat transmisi atau kawat tanah akan mengakibatkan rusaknya peralatan yang ada di gardu induk tersebut terutama transformator daya dan pemutus tenaga, sehingga penyaluran energi listrik ke konsumen akan mengalami gangguan.

Gangguan yang disebabkan oleh petir akan dapat menaikkan tegangan sampai beberapa kali tegangan nominal sistem tersebut, sehingga peralatan yang mempunyai rating tegangan tertentu akan terlampaui yang dapat merusak peralatan. Untuk mengatasi gangguan petir, pada sisi masuk gardu induk (GI) dipasang pengaman petir yang dapat melindungi peralatan listrik yang digunakan sebagai kelangsungan penyaluran energi listrik ke konsumen.

Dengan memasang alat pengaman dapat diketahui besar energi kilat/petir yang mengenai peralatan, karena kilat selalu mencari jalan terpendek untuk melepaskan muatan listrik selain itu alat pengaman harus dapat melindungi peralatan sistem tenaga listrik dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkan ke tanah.

II. Tinjauan Pustaka

Arrester merupakan suatu alat pelindung terhadap tegangan surja berfungsi melindungi peralatan listrik

dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ke tanah.

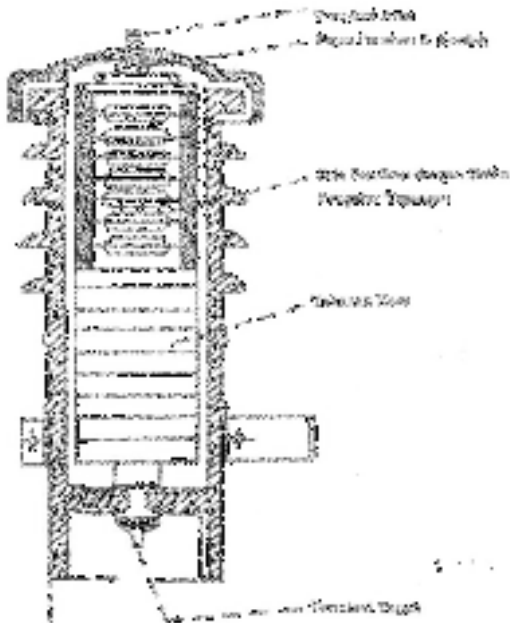
Sesuai dengan fungsinya, arrester harus dapat menahan tegangan sistem 50 Hz untuk waktu yang tak terbatas dan harus dapat melakukan surja arus ke tanah tanpa mengalami kerusakan. Kecuali itu, sebuah alat pelindung yang baik mempunyai perbandingan perlindungan (protective ratio) yang tinggi yaitu pada waktu pelepasan antara tegangan surja maksimum yang diperbolehkan pada waktu pelepasan (discharge) dan tegangan sistem 50 Hz maksimum yang dapat ditahan sesudah pelepasan tadi.

Alat pelindung yang paling sempurna adalah arrester, pada pokoknya arrester ini terdiri dari dua unsur yaitu sela api (*spark gap*) dan tahanan tak linier atau tahanan kran/katup (*valve resistor*). Kedua dihubungkan secara seri. Batas atas dan bawah dari tegangan percikan ditentukan oleh tegangan sistem maksimum dan oleh tingkat isolasi peralatan yang dilindungi, sering kali persoalan ini dapat dipecahkan hanya dengan mengetrapkan cara-cara khusus pengaturan tegangan (*voltage control*). Oleh karena itu sebenarnya arrester terdiri dari unsur; sela api, tahanan katup dan sistem pengaturan atau pembagian tegangan (*grounding sistem*).

Tetapi bila tahanannya mempunyai harga tetap, maka jatuh tegangannya menjadi besar sekali sehingga untuk maksud meniadakan tegangan lebih tidak terlaksanakan, oleh sebab itu dipakailah tahanan katup yang mempunyai sifat khusus yang mana tahanannya kecil sekali bila tegangannya dan arusnya besar. Proses pengecilan tahanan berlangsung cepat sekali yaitu selama tegangan lebih mencapai harga puncaknya. Tegangan lebih dalam hal ini mengakibatkan penurunan dratis dari pada tahanan

sehingga jatuh tegangannya dibatasi meskipun arusnya besar.

Bila tegangan lebih telah habis dan tertinggal tegangan normal, tahananannya naik lagi sehingga arus susulannya dibatasi sampai kira-kira 50 Ampere. Arus susulan ini akhirnya dimatikan oleh sela api pada waktu tegangan sistemnya mencapai titik nol sehingga alat ini bertindak sebagai sebuah kran yang menutup arus (dari sinilah dikenal tahanan kran).



Gambar 1. Arester terdiri dari tiga unsur

Pada saat normal maka arester berfungsi sebagai isolator. Pada saat terjadi arus gangguan yang besar mengakibatkan tegangan yang besar. Karena tegangan yang besar dan sela udara dalam arester tetap sehingga kuat medan (E) menjadi besar ($E = v/d$) dimana d adalah sela udara dalam arester. Hal ini disebut proses terjadinya break down pada arester.

Kuat medan yang besar menimbulkan gaya antara elektron atas dan bawah dari arester menjadi besar pula. Sesuai dengan persamaan:

$$F = q \cdot E \quad (1)$$

Diketahui:

$$F = m \cdot a \quad (2)$$

Maka, $q \cdot E = m \cdot a \quad (3)$

Sehingga:

$$a = \frac{q \cdot E}{m} \quad (4)$$

Di mana:

a = Percepatan

q = Muatan

F = Gaya antara elektron atas dan bawah dari arester

E = Kuat medan

m = Massa.

Karena percepatan dan elektron yang besar sehingga energi kinetiknya (EK) menjadi besar pula. Disaat energi kinetik elektron lebih besar dari energi ikat elektron sendiri sehingga terjadi ionisasi. Yaitu terlepasnya elektron dari molekul udara. Oleh karena lepasnya elektron dan ion-ion dan berada didalam kuat medan yang besar, maka elektron-elektron dan ion-ion bebas ini mengalami gaya percepatan gerakanya, sehingga terjadi tabrakan dengan molekul lain. Akibatnya akan timbul ion-ion dan elektron-elektron baru proses ini berlangsung terus sehingga mencapai tegangan kritis sehingga arus dapat mengalir melalui sela udara arester. Ini terlihat seperti lompatan api listrik. Inilah proses terjadinya breakdown, dengan kata lain berubahnya fungsi kerja isolator menjadi konduktor akibat kuat medan listrik yang besar.

Karakteristik Arester

Untuk menentukan tegangan terminal peralatan yang dilindungi, maka arester merupakan alat pelindung yang dapat diandalkan pada saat ini. Maka perlu diketahui dengan jelas karakteristik dari arester tersebut adalah:

1. Mempunyai tegangan dasar (rated) dan frekuensi 50 Hz yang tidak boleh dilampaui.
2. Mempunyai karakteristik yang dibatasi oleh tegangan bila dilalui oleh berbagai macam arus petir.
3. Mempunyai batas thermis.

Maka arester adalah sebuah peralatan yang mempunyai rating tegangan. Arester tersebut tidak boleh dikenakan tegangan yang melebihi rating ini, baik dalam keadaan normal maupun dalam keadaan hubung singkat, sebab arester ini dalam menjalankan fungsinya harus menanggung tegangan sistem normal dan tegangan lebih 50 Hz. Karakteristik pembatas tegangan impuls dan arester adalah harga yang dapat ditahanan pada terminal bila menyalurkan arus tertentu.

Harga ini berubah sesuai besarnya arus. Karakteristik ini harus dapat dikenal dalam keadaan singkat, sebab arester ini dalam keadaan terjadi percikan pada sela pada saat arester mulai bekerja (dengan adanya surja) sebelum arus mulai mengalir.

Dari karakteristik pada ciri yang ketiga batas thermisnya, adalah kemampuan untuk melakukan arus surja yang waktu terjadinya berulang-ulang, misalnya surja hubung tanpa menaikkan suhunya. Meskipun kemampuan arester untuk menyalurkan arus sudah mencapai 65-100 kA, tetapi kemampuan untuk melakukan surja hubung lebih penting lagi bila saluran menjadi panjang dan berisi tenaga besar. Berhubungan dengan hal ini, agar tekanan pada isolasi dapat dibuat serendah mungkin diperlukan suatu sistem perlindungan tegangan. Dimana sistem perlindungan mempunyai beberapa persyaratan antara lain:

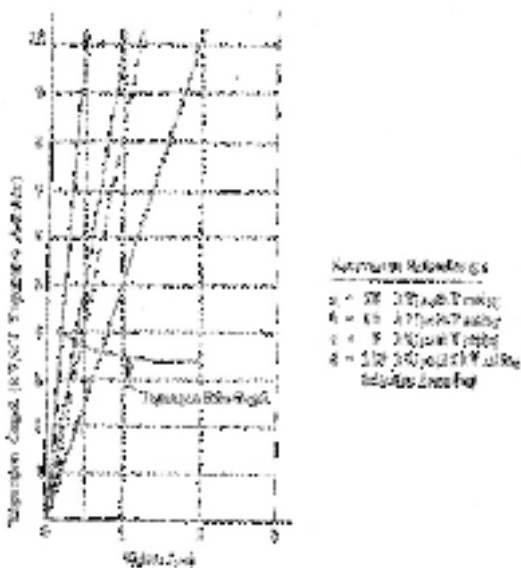
1. Dapat melepas tegangan lebih ke tanah tanpa menyebabkan hubung singkat ke tanah.
2. Dapat memutuskan arus susulan.

- Mempunyai tingkat perlindungan yang rendah, artinya tegangan percikan sela dan tegangan pelepasannya rendah.

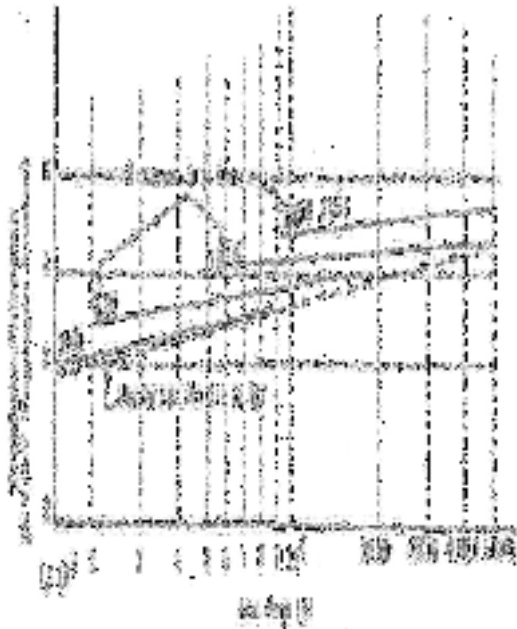
Arester dipakai semata-mata untuk melindungi isolasi terhadap surja petir. Kebutuhan untuk menurunkan tingkat isolasi dan tingkat perlindungan tegangan arester harus dapat membatasi tegangan lebih dalam surja hubung. Tegangan gagal sela atau tegangan percikan pada 50 Hz harus mempunyai harga yang tinggi untuk mengurangi sekecil mungkin pelepasan yang disebabkan oleh adanya hubung singkat ke tanah dan surja hubung.

Kegagalan sela yang dipengaruhi oleh kecuraman tegangan yang datang, menentukan tegangan pelepasan permulaan pada jatuh tegangan pada elemen kran yang tergantung pada kecuraman dan besarnya arus surja, menentukan tegangan arester pada saat pelepasan. Pada Gambar 2 menunjukkan variasi tegangan sela gagal terhadap kecuraman gelombang dan Gambar 3 menyatakan berubahnya tegangan pelepasan terhadap besarnya dan kecepatan dan naiknya arus surja untuk arester gabung dan transmisi dari Gambar 2 dan Gambar 3 dapat diperkirakan karakteristik perlindungan untuk segala macam tegangan dasar arester, dalam bentuk tegangan gagal dan tegangan pelepasan. Harga-harga yang didapat dari perhitungan tentu saja tidak 100% tepat tetapi cukup untuk mendapatkan gambaran mengenai kemampuan perlindungan.

Di mana kemampuan arrester yaitu untuk mengalirkan arus surja hal ini perlu diketahui karena arrester akan mengalir arus surja sebagai akibat dari sambaran petir pada sistem tenaga listrik, dan untuk bertahan terhadap panas yang timbul akibat arus petir yang dialirkannya ke tanah (bumi). Panas yang berlebihan tersebut dapat mengakibatkan arrester rusak. Panas yang terjadi tergantung dari besarnya arus surja dan lama arus mengalir ke tanah (bumi).



Gambar 2. Tegangan Gagal



Gambar 3. Tegangan Pelepasan

Tingkat Pengenal dari Penangkal Petir (Rating Arrester)

Tegangan nominal atau tegangan pengenalan (U_A) (Nominal Voltage or Rated Voltage) adalah tegangan dimana penangkal petir masih dapat bekerja sesuai dengan karakteristiknya. Penangkal petir tidak boleh bekerja pada tegangan maksimum sistem yang direncanakan, tetapi masih tetap mampu memutuskan arus ikutan dari sistem secara efektif.

Penangkal petir umumnya tidak dapat bekerja jika ada gangguan fasa ketanah disatu tempat dalam sistem, karena itu tegangan pengenalan dari penangkal petir harus lebih tinggi dari tegangan fasa sehat ke tanah, jika tidak demikian maka penangkal petir akan melakukan arus ikutan sistem yang terlalu besar yang menyebabkan penangkal petir rusak akibat beban lebih thermis (thermal over loading).

Untuk mengetahui tegangan maksimum yang mungkin terjadi pada fasa yang sehat ketanah sebagai akibat gangguan satu fasa ketanah, perlu diketahui:

- Tegangan sistem tertinggi (sistem highest voltage), umumnya diambil harga 110 % dari harga tegangan nominal sistem.
- Koefisien pentanahan.

Didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan rms fasa sehat ke tanah dalam keadaan gangguan pada tempat di mana penangkal petir dipasang, dengan tegangan rms fasa ke fasa tertinggi dari sistem dalam keadaan tidak ada gangguan. Jadi tegangan pengenalan dari suatu penangkal petir (rating arrester) = tegangan rms fasa ke fasa tertinggi x koefisien pentanahan = Tegangan rms fasa ke fasa x 1,10 x koefisien pentanahan

Tegangan Dasar (Rating Tegangan) Arester

Tegangan dasar (rating tegangan) dari suatu arrester adalah tegangan tertinggi pada sistem yang dapat dikenakan pada arester, dimana arester tersebut masih dapat bekerja dengan baik. Tegangan tersebut timbul pada saat terjadi hubung singkat satu fasa ke tanah, dimana dalam kondisi ini besarnya tegangan fasa ke fasa yang sehat bisa mencapai keadaan normal. Tegangan dasar dapat ditentukan berdasarkan cara pentanahan netralnya, sebab pentanahan ini menentukan besarnya tegangan maksimum dari fasa ke tanah dalam keadaan hubung singkat. Berdasarkan pentanahan netralnya, sistem dibagi dalam tiga macam, yaitu :

1. Sistem yang ditanahkan efektif (ditanahkan langsung)
 Pada sistem ini, jika terjadi hubung singkat satu fasa ke tanah, maka tegangan fasa ke tanah pada fasa yang sehat tidak melebihi 80 % dari tegangan fasa ke fasa sistem.
 Dalam hal ini :
 $0 < R_0 / R < 1$ dan $0 < X_0 / X_1 < 3$
 (Koefisien pentanahannya 0,8)
2. Sistem yang ditanahkan tidak efektif (ditanahkan tidak langsung)
 Pada sistem ini, jika terjadi hubung singkat satu fasa ke tanah maka tegangan fasa ke tanah pada fasa yang sehat lebih besar dari 80 % tetapi tidak melebihi 100 % dari tegangan fasa ke fasa sistem.
 (Koefisien pentanahannya 1,0).
3. Sistem yang terisolasi (tanpa pentanahan)
 Pada sistem ini, jika terjadi hubung singkat satu fasa ke tanah maka tegangan fasa ke tanah pada fasa yang sehat dapat melebihi 100 % dari tegangan fasa sistem yang normal.

Dalam penggunaan arester sebagai alat proteksi kilat biasanya diberikan kelebihan tegangan sebesar 5 % - 10 % dari tegangan nominal. Misalnya arester mempunyai tegangan dasar 105 % dari tegangan fasa ke fasa dalam keadaan normal dipakai tegangan fasa ke tanah dalam keadaan hubung singkat sama dengan fasa ke fasa. Demikian juga sistem yang ditanahkan langsung, dimana tegangan fasa ke tanah tidak akan melebihi 80 % dari tegangan fasa ke fasa, maka tegangan fasa yang menjadi $1,50 \times 80 \% = 84 \%$ dari tegangan fasa ke fasa.

Hubungan tegangan dasar arester dengan sistem pentanahannya dinyatakan dengan persamaan berikut:

Dimana:
 $E_r = a \cdot b \cdot E_m$
 $= q \cdot E_m$

- Dimana:
 E_r = Tegangan dasar arester
 a = Koefisien pertanahan
 b = Selisih (margin)

- E_m = Tegangan fasa ke fasa maksimum sistem
 q = Arester yang digunakan pada sistem
 E_r = disebut arester $q\%$

Untuk sistem netralnya ditanahkan tidak langsung, harga a kira-kira 100 % dan b biasanya dipakai 1,15. Sedangkan untuk sistem yang netralnya ditanahkan tidak langsung, harga a berkisar antara 65 % - 80 % dan b berkisar antara 3 - 1,15.

III. Analisa dan Pembahasan

Data – Data Untuk Perhitungan

Data Lightning Arrester di Gardu Induk Langsa

Tipe	= 3CMI39
Merk	= Bowthorpe emp
Tegangan	= 170 kV
Frekuensi	= 50 Hz
Nomor Seri	= 5758
Arus Pelepasan	= 10 kV

Data Transformator Daya di Gardu Langsa

Tipe	= ORF 26/275
Daya	= 60 MVA
Tegangan	= 150 kV/ 20 kV
TID	= 650 kV
Frekuensi	= 50 Hz
Nomor Seri	= 81.5.6513

Di Gardu Induk Langsa dengan transformator 70 MVA, dengan tingkat isolasi dasarnya 650 kV Transformator tersebut dihubungkan langsung dengan saluran transmisi udara 150 kV dan di lindungi oleh arester 170 kV dengan tegangan pelepasan maksimumnya 540 kV yang mempunyai panjang kawat penghubung ke tanah 35 kaki. Misal gelombang surjanya $e = 1000$ kV dengan kecepatan merambat gelombangnya 300 m/ μ det



Gambar 4. Jarak penempatan arester

$E_p = 650$ kV
 $E_a = 450$ kV
 $V = 300$ m/ μ det
 $A = 10000$ kV

Maka :
 Rumus, $S = \frac{E_p + E_a}{2A} \cdot V$

$$S = \frac{650 + 450}{2.10000} \times 300$$

$$S = 16,5 \text{ m}$$

Jadi jarak maksimum antara transformator dengan lightning arrester adalah 16,5 meter

IV. Kesimpulan

1. Dengan menggunakan lightning arrester maka kontinuitas pelayanan tenaga listrik lebih terjamin bila ada gangguan petir di transformator.
2. Dalam pemelihan kelas dan rating lightning arrester perlu dipertimbangkan beberapa faktor sehingga diperoleh kelas dan jenis lightning arrester yang lebih efektif dan ekonomis untuk melindungi peralatan-peralatan.
3. Penangkal petir adalah alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan dapat menahan tegangan sistem 50 Hz untuk waktu yang tak terbatas dan dapat menyalurkan surja arus ketanah tanpa mengalami kerusakan.
4. Tegangan nominal atau tegangan pengenalan adalah tegangan dimana penangkal petir masih dapat bekerja sesuai dengan karakteristiknya.
5. Setelah dianalisa jarak maksimum antara lightning arrester dan transformator adalah 16,5 meter. Sedangkan jarak lightning arrester dengan transformator yang dipasang pada gardu induk Langsa adalah 3 meter, harga ini sudah memenuhi syarat. Ini terjadi perbedaan harga disebabkan menggunakan rumus pendekatan.

Daftar Pustaka

- [1] Arismunandar, A. 1973, *Teknik Tenaga Listrik*, Jilid II, Penerbit Pratnya Paramita Jakarta.
- [2] Arismunandar, A. 1975, *Teknik Tenaga Listrik*, Jilid III, Penerbit Pratnya Paramita Jakarta.
- [3] Arismunandar, A. 1984, *Teknik Tegangan Tinggi*, Penerbit Pratnya paramita Jakarta.
- [4] Abdul Hadi. 1986, *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [5] Hutaaruk, T.S. 1991, *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Erlangga. Jakarta.
- [6] IEC 62305-1. International Standard, *Protection Against Lightning-Part 1 : General Principles*, Edition 2.0, 2010-12
- [7] Ismail, 2002, *Studi Perlindungan Kawat Tanah Pada Gardu Induk Terhadap Sambaran Petir Langsung Dengan Metode Rolling Sphere*. Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Tanjungpura.
- [8] Robert. D. Evans, 1950, *Electrical Transmisi and Distribusi*, Oxford & IBH Publishing,
- [9] SNI 03-7015-2004, 2004, *Sistem Proteksi Petir Pada Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional.
- [10] Pujijanto, 1999, *Studi Penentuan Rating Arrester dan Jarak Optimum Antara Arrester Dengan Pemutus Daya dan Transformator Daya Di Gardu Induk Siantan*. Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Tanjungpura.
- [11] Z, Reynaldo., *Proteksi Terhadap Tegangan Lebih Pada Sistem Tenaga Listrik*, Penerbit ITB, Bandung.