

## Studi Kemampuan Arrester Untuk Pengaman Transformator Pada Gardu Induk Tanjung Morawa 150 KV

Jonner Manihuruk, S.T., M.T.<sup>1)</sup>, Toga Simorangkir<sup>2)</sup>, Novrin L Sitanggang<sup>3)</sup>  
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas HKBP Nommensen  
jonner.manihuruk@uhn.ac.id

### Abstrak

Tegangan lebih adalah tegangan yang hanya dapat ditahan untuk waktu yang sangat terbatas. Tegangan lebih yang terjadi dalam waktu yang melebihi batas kemampuan peralatan akan merusak peralatan yang tersambung pada jaringan yang dikenai tegangan lebih. Tegangan lebih petir merupakan tegangan lebih periodik yang disebabkan karena gangguan dari luar (*External Over Voltage*), baik sambaran langsung maupun sambaran tidak langsung. Tegangan lebih petir hanya berlangsung sangat singkat namun memiliki tegangan yang sangat tinggi melebihi tegangan operasional peralatan sehingga berpotensi sangat merusak. *Lightning Arrester* adalah peralatan pengaman instalasi dari gangguan tegangan lebih akibat sambaran petir (*Lightning Surge*) maupun oleh surja hubung (*Switching Surge*). Transformator/trafo tenaga berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dengan menaikkan atau menurunkan tegangan di Gardu Induk. Penelitian ini fokus pada peralatan Gardu Induk yaitu *Lightning Arrester* ASEA type XAR 170A3/144 yang terhubung dengan transformator (trafo) Daya I merek UNINDO 906007289. Perlindungan yang baik diperoleh bila arrester ditempatkan sedekat mungkin pada jepitan trafo. Tetapi, dalam praktek arrester itu harus ditempatkan dengan jarak  $X$  dari trafo yang dilindungi. Karena itu, jarak tersebut harus ditentukan dengan tepat agar perlindungan yang dihasilkan dapat diperoleh dengan baik. Pemasangan Arrester sesuai teori adalah 50 meter dari Trafo, dalam pelaksanaannya pada Gardu Induk TAMORA jarak arrester adalah 3 meter dari transformator sementara berdasarkan perhitungan pada penelitian ini jarak terbaik adalah 10,96 meter.

**Kata Kunci :** Tegangan Lebih, Arrester, Transformator, Jarak Arrester.

### Abstract

*Overvoltage is a voltage that can only be held for a very limited time. Overvoltage that occurs for a time that exceeds the equipment's capacity limit will damage the equipment connected to the network that is subjected to overvoltage. Lightning overvoltage is a periodic overvoltage caused by external overvoltage, both direct and indirect strikes. Lightning overvoltage only lasts a very short time but has a voltage that is so high that it exceeds the operating voltage of the equipment so it is potentially very damaging. Lightning Arrester is an installation safety equipment from overvoltage disturbances due to lightning strikes (Lightning Surge) or by switching surges (Switching Surge). Transformer / power transformer serves to distribute power / electrical power by increasing or decreasing the voltage at the substation. This research focuses on substation equipment, namely Lightning Arrester ASEA type XAR 170A3/144 which is connected to a Power I transformer (transformer) UNINDO 906007289. Good protection is obtained when the arrester is placed as close as possible to the transformer clamp. However, in practice the arrester must be located at a distance  $X$  from the transformer being protected. Therefore, the distance must be determined properly so that the resulting protection can be obtained properly. Arrester installation according to theory is 50 meters from the transformer, in practice at the TAMORA Substation the arrester distance is 3 meters from the temporary transformer based on calculations in this final project the best distance is 10.96 meters.*

**Keywords:** Overvoltage, Arrester, Transformer, Arrester Distance.

### PENDAHULUAN

Kebutuhan Energi listrik yang semakin besar harus diikuti stabilitas yang semakin baik agar keselamatan produksi dan konsumsi energi listrik dapat terjamin baik dari segi teknis maupun parameter kebaikan energi listrik yaitu tegangan, frekuensi dan kehandalan. Adanya gangguan yang terjadi pada sistem akan mengakibatkan turunnya kontinuitas penyaluran energi listrik.

Gangguan yang terjadi pada penyaluran energi listrik dapat diakibatkan bila terjadi sambaran pada kawat penghantar di saluran transmisi yang menyebabkan gelombang surja petir merambat menuju peralatan di gardu induk, di mana besar ketajamannya dapat menggagalkan isolasi peralatan. Sambaran surja petir dapat mengakibatkan timbulnya gelombang berjalan. Gelombang menyebabkan terjadinya tegangan lebih (*over voltage*),

pengaruh gelombang berjalan akan menimbulkan tegangan yang lebih tinggi di tempat-tempat yang agak jauh dari arrester. Oleh karena itu jarak optimal yang diizinkan antara arrester dan peralatan yang dilindungi dapat ditentukan dengan memperhatikan kecuraman dari gelombang surja yang datang, tegangan kerja arrester, sehingga konsep perlindungan terhadap peralatan dapat tercapai secara optimal.

Dengan demikian, pada sebuah gardu induk sangat diperlukan perlindungan terhadap gangguan surja petir. Untuk itu membuat jalan yang mudah dilalui oleh surja petir maka harus dipasang sebuah alat yang disebut arrester. Arrester petir disingkat arester atau sering disebut penangkap petir, adalah alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir, sebagai jalan pintas (bypass) sekitar isolasi. Arrester membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan. Jalan pintas itu harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran arus daya sistem 50 Hz dan pada kerja normal arrester itu berlaku sebagai isolator dan apabila timbul surja maka dia berlaku sebagai konduktor, yang dapat melewatkan aliran arus yang tinggi. Setelah surja hilang, arester harus dengan cepat kembali menjadi isolator, sehingga pemutus daya tidak sempat membuka. Arrester modern dapat membatasi harga tegangan surja di bawah tingkat isolasi peralatan. Peralatan dapat dilindungi dengan menempatkan arrester sedekat mungkin pada 4 peralatan tersebut dan tidak perlu menggunakan alat pelindung pada tiap bagian peralatan yang akan dilindungi. Walaupun pengaruh gelombang berjalan akan menimbulkan tegangan yang lebih tinggi di tempat yang agak jauh dari arester, peralatan masih dapat dilindungi dengan baik bila jarak arrester dan peralatan masih dalam batas yang diizinkan. Arrester di tempatkan sedekat mungkin dengan peralatan yang dilindungi.

Tetapi untuk memperoleh kawasan perlindungan yang lebih baik, maka ada kalanya arester di tempatkan dengan jarak tertentu dari peralatan transformator (trafo) yang dilindungi. Jarak arrester dengan trafo yang dilindungi berpengaruh terhadap besarnya tegangan yang tiba pada trafo. Jika jarak arrester terlalu jauh, maka tegangan yang tiba pada trafo dapat melebihi tegangan yang dapat dipikulnya. Untuk menentukan jarak

maksimum yang diizinkan antara arrester dan peralatan yang dilindungi dikenal beberapa metode. Salah satu metodenya adalah metode pantulan berulang. Metode ini adalah metode pendekatan yang dapat digunakan untuk menentukan jarak maksimum arrester dan peralatan, dan juga untuk menentukan panjang maksimum dari kabel penghubung peralatan dengan saluran transmisi. Gardu Induk Tanjung Morawa 150 KV, dimana disitu terdapat peralatan trafo dan arrester yang penempatannya mempunyai jarak tertentu

## DASAR TEORI

### Umum

Pusat pembangkit listrik umumnya di hubungkan dengan saluran transmisi udara yang menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit ke pusat-pusat konsumsi tenaga listrik, yaitu gardu-gardu induk (GI). Sedangkan saluran transmisi udara ini rawan sekali terhadap sambaran petir karena berada di areal udara terbuka, oleh karena itu, setiap gardu induk harus ada lightning arrester.

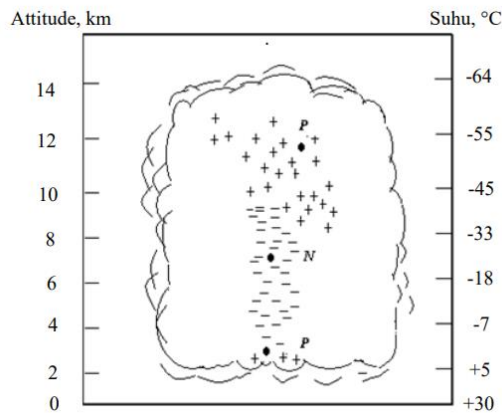
### Peristiwa petir

Petir merupakan suatu peristiwa peluahan muatan listrik di atmosfer. Pada suatu keadaan tertentu dalam lapisan atmosfer bumi terdapat gerakan angin ke atas (updraft) membawa udara lembab. Semakin tinggi dari permukaan bumi, semakin rendah tekanan suhunya. Uap air mengondensasi menjadi titik air dan membentuk awan.

Angin keras dengan kecepatan 30000 – 40000 kaki yang bertiup ke atas membawa awan lebih tinggi. Pada ketinggian lebih dari 5 km, partikel uap air dan partikel aerosol yang ada di awan akan membeku menjadi kristal – kristal es dan kemudian turun lagi karena adanya gravitasi bumi. Karena air mengalami pergerakan acak vertikal dan horizontal, maka terjadilah pemisahan muatan listrik. Tetesan air yang berada di bagian atas awan biasanya bermuatan positif dan di bagian bawah bermuatan negatif.

Akibat adanya awan yang bermuatan akan timbul muatan induksi pada permukaan bumi, hingga timbul medan listrik. Mengingat dimensinya, bumi dianggap rata terhadap awan, maka permukaan bumi dan awan dapat dianggap sebagai dua keping plat kondensator. Dengan demikian terjadi akumulasi muatan di awan yang polaritasnya berbeda dengan

permukaan bumi. Jika medan listrik yang terjadi melebihi medan tembus udara, maka akan terjadi pelepasan muatan. Pada saat itulah terjadinya petir awan ke tanah.



Gambar 1. Persebaran muatan positif dan negatif di dalam awan

### Tahapan Perambatan Petir

Petir awan ke tanah merupakan tembus listrik transien yang berlangsung dalam selang waktu ratusan mikrodetik dan merambat sepanjang beberapa kilometer dari awan ke permukaan bumi. Petir awan ke tanah berawal dari daerah sela antara daerah bermuatan positif P di dasar awan dan daerah bermuatan negatif N di atasnya. Elektron daerah N awan bergerak ke bawah menetralkan muatan positif di daerah P awan. Proses ini dikenal dengan proses peluahan awal. Selanjutnya elektron merambat menuju permukaan bumi dan menimbulkan lidah petir. Lidah petir yang pertama disebut pelopor awal. Arah langkah lidah petir berubah-ubah, sehingga rambatan petir tidak lurus dan patah-patah. Pelopor akan terus merambat selama pusat muatan di awan mampu memberikan muatan ke ujung pelopor melebihi kuat medan udara.

Seluruh kejadian peluahan petir disebut kilat. Dan dapat terjadi selama 0,5 hingga 1 detik. Satu kilat terdiri dari beberapa peluahan, di antaranya 3 atau 4 pulsa arus tinggi yang disebut sambaran. Pada petir di dalam awan, yang merupakan peluahan yang terjadi di dalam satu awan (awan cumulonimbus), tanpa kontak langsung dengan permukaan bumi. Peluahan petir jenis ini merambat antara daerah N bermuatan negatif dengan daerah P bermuatan positif di atasnya. Tipe peluahan petir yang lainnya adalah petir awan ke awan. Petir awan ke awan terjadi antara dua awan cumulonimbus yang berbeda muatan.

### Efek Sambaran Petir

#### *Sambaran Tidak Langsung*

Muatan induksi yang muncul pada jaringannya disebabkan oleh sambaran petir ke bumi dan oleh sambaran petir dari awan ke awan. Pada umumnya lompatan api yang ditimbulkan tidak terlalu besar, sehingga bukan merupakan masalah yang serius

#### *Sambaran Langsung*

Sambaran petir dari awan langsung ke jaringan yang menyebabkan tegangan naik dengan cepat pada daerah sambaran. Daerah yang terkena sambaran dapat terjadi pada daerah tower, kawat petir dan kawat pengantar.

### Lightning Arrester

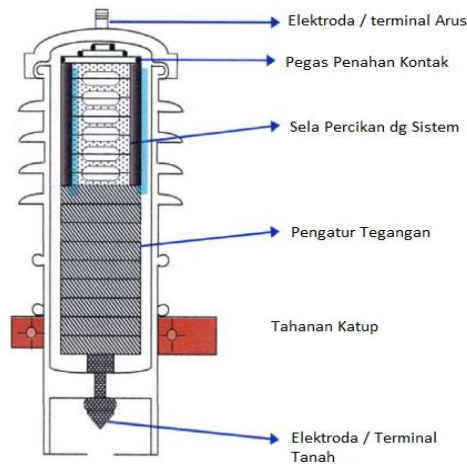
Arrester atau biasa juga lightning arrester adalah suatu alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir (surge). Alat pelindung terhadap gangguan surja ini berfungsi melindungi peralatan system tenaga listrik dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ke tanah.

Sesuai dengan fungsi itu maka arrester harus dapat menahan tegangan system pada frekuensi 50 hz untuk waktu yang terbatas dan harus dapat melewatkan surja arus ke tanah tanpa mengalami kerusakan pada arrester itu sendiri.

Arrester berlaku sebagai jalan pintas di sekitar isolasi. Arrester membentuk jalan yang mudah untuk dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang nilainya tinggi pada peralatan. Selain melindungi peralatan dari tegangan lebih yang diakibatkan oleh tegangan lebih eksternal, arrester juga melindungi peralatan dari tegangan lebih yang diakibatkan oleh tegangan lebih internal seperti surja hubung. Selain itu arrester juga merupakan kunci dalam koordinasi isolasi suatu sistem tenaga listrik.

Bila surja hubung datang ke gardu induk maka arrester akan bekerja melepaskan muatan listrik serta mengurangi tegangan abnormal yang mengenai peralatan dalam gardu induk. Lightning arrester bekerja pada tegangan tertentu di atas tegangan operasi untuk membuang muatan listrik dari surja petir dan berhenti beroperasi pada tegangan tertentu di atas tegangan operasi agar tidak terjadi arus pada tegangan operasi dan perbandingan dua

tegangan ini disebut rasio proteksi arrester. Bagian-bagian arrester



Gambar 2. Penampang Arrester

### Prinsip Kerja Arrester

Pada kondisi kerja yang normal, arrester berlaku sebagai isolasi tetapi bila timbul surja akibat adanya petir maka arrester akan berlaku sebagai konduktor yang berfungsi melewatkan aliran arus yang tinggi ke tanah. Setelah tegangan surja itu hilang maka arrester harus dengan cepat kembali menjadi isolator sehingga PMT tidak sempat membuka. Pada kondisi yang normal (tidak terkena petir), arus bocor arrester tidak boleh melebihi 2 mA.

Batas atas dan batas bawah dari tegangan percikan ditentukan oleh tegangan sistem maksimum dan oleh tingkat isolasi peralatan yang dilindungi. Apabila arrester digunakan hanya melindungi isolasi terhadap bahaya kerusakan karena gangguan dengan tidak memperdulikan akibatnya terhadap pelayanan, maka cukup dipakai sela batang yang memungkinkan terjadinya percikan pada waktu tegangannya mencapai keadaan bahaya. Tegangan sistem bolak-balik akan tetap mempertahankan busur api sampai pemutus bebannya dibuka. Dengan menyambung sela api ini dengan sebuah tahanan, maka mungkin apinya dapat dipadamkan. Jika tahanannya mempunyai sebuah harga tetap, maka jatuh tegangannya menjadi besar sekali sehingga maksud melindungi isolasi pun gagal. Oleh sebab itu, dipakailah tahanan kran, yang mempunyai sifat khusus bahwa tahanannya kecil sekali bila tegangannya dan arusnya besar.

Bila tegangan lebih habis dan tegangan normal tinggal, tahanannya 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 yang pertama.

### Pemilihan Tingkat Isolasi Dasar (BIL)

BIL ini menyatakan tingkat isolasi terhadap petir. Agar pemakaian arrester dalam koordinasi isolasi dapat memberikan hasil yang maksimal perlu berpedoman pada asas-asas. Dan salah satu asasnya adalah. Daerah perlindungan harus mempunyai jangkauan yang cukup untuk melindungi semua peralatan gardu induk yang mempunyai BIL (Basic Insulation Level) atau lebih tinggi dari daerah perlindungan.

Untuk menghitung dari margin perlindungan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$IM = (BIL / KIA - 1) \times 100\%$$

Keterangan:

IM = Impuls Margin (%)

KIA = Tegangan pelepasan maksimum arrester (kV)

BIL = Tingkat isolasi dasar (kV)

Berdasarkan rumus di atas ditentukan tingkat perlindungan untuk trafo daya. Kriteria yang berlaku untuk MP > 20% dianggap cukup untuk melindungi transformator.

### Kegunaan Arrester

Arrester merupakan kunci dalam koordinasi isolasi suatu sistem tenaga listrik. Bila surja (surge) datang ke G.I, arrester bekerja melepaskan muatan listrik (discharge). serta mengurangi tenaga abnormal yang akan mengenai peralatan dalam G.I. itu setelah surja (petir atau hubung) dilepaskan melalui arrester, arus masih mengalir karena adanya tegangan sistem; arus ini disebut arus dinamika atau arus susulan (follow current); Arrester harus mempunyai ketahanan termis yang cukup terhadap energi dari arus susulan ini, dan harus mampu memutuskannya. Jika pada waktu arrester melepas, tegangan sistem dan arus dinamika terlalu tinggi, maka arrester itu mungkin tidak mampu memutuskan arus susulan.



## Jangkauan Perlindungan Oleh Arrester

Arrester mempunyai elemen katup (Valve element) yaitu terdiri dari tahanan tak linier (non-linear resistance) yang terpasang seri dengan elemen sela (gap elemen). Tegangan diantara terminal arrester pada waktu pelepasan ditunjukkan pada Gbr.2.4. Karena adanya jarak antara arrester dan alat yang dilindungi serta adanya pantulan (reflection) surja, maka tegangan pada terminal dari alat yang dilindungi lebih tinggi dari tegangan arrester. Oleh karena itu, jarak antara arrester dan alat yang dilindungi harus dibuat sedekat mungkin. Pada umumnya jarak sampai 50m dianggap masih aman, meskipun gangguan petirnya sangat dekat dengan G.I., asalkan ada toleransi 20 -30 % antara tingkat isolasi (BIL) dari alat yang dilindungi dan tegangan pelepasan dari arrester.

## Jarak antara Arrester dan alat yang dilindungi

Meskipun yang paling baik adalah penempatan arrester sedekat mungkin dengan alat yang dilindungi, tetapi dalam praktek kadang kadang hal ini tidak dimungkinkan. Jika jarak itu terlalu jauh, tegangan abnormal yang sampai pada terminal dari peralatan akan lebih tinggi dari pada tegangan pelepasan arrester. Hubungan antara tegangan terminal dari alat yang dilindungi dan jarak arrester, dengan memisalkan hanya ada satu saluran (paling gawat) dan gelombang yang datang berbentuk segitiga, adalah sebagai berikut :

$$e_t = e_a + 2\mu x/v \quad 2)$$

dimana

$e_t$  = Tingkat Isolasi Dasar Transformator (kV)

$e_a$  = Tegangan pelepasan dari arrester (kV)

$\mu$  = Kecuraman muka gelombang dari gelombang yang datang (m)

$v$  = Kecepatan rambat gelombang yang datang (m)

$x$  = jarak dari arrester ke alat yang dilindungi (m)

Oleh karena itu jarak ( $x$  dalam persamaan di atas) harus sekecil mungkin supaya  $e_t$  tidak melebihi kekuatan isolasi alat. Meskipun pada umumnya dipakai  $500\text{kV}/\mu\text{s}$ , tetapi kecuraman sampai  $1000\text{kV}/\mu\text{s}$  juga terjadi

dalam keadaan istimewa menurut rekomendasi IEC(1958).

## Jenis jenis Arrester

Sebelumnya telah dijelaskan bahwa alat pelindung tegangan lebih sela batang tidak dapat memutuskan arus susulan. Untuk memutuskan arus susulan tersebut, dikembangkan alat pelindung tegangan lebih yang disebut arrester. Ada dua jenis arrester, yaitu arrester ekspulsi dan arrester katup.

### - Arrester Ekspulsi

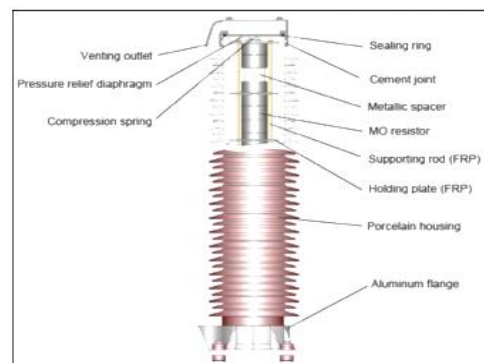
Arrester jenis ekspulsi digunakan pada sistem tenaga listrik bertegangan hingga 33 kV.

### - Arrester Jenis Katup

Berdasarkan sela perciknya, arrester katup terdiri dari arrester sela pasif, arrester sela aktif dan, arrester tanpa sela percik. Arrester sela pasif digunakan pada jaringan distribusi hantaran udara; arrester sela aktif digunakan pada jaringan tegangan tinggi dan titik pusat jaringan distribusi; sedangkan arrester tanpa sela digunakan untuk semua tingkat tegangan.

## Konstruksi Lightning Arrester

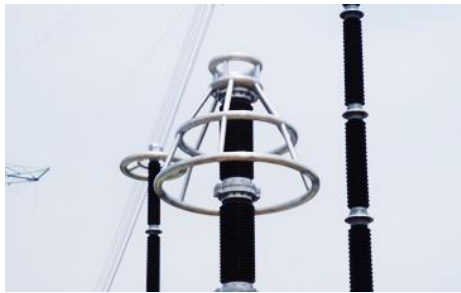
Lightning Arrester ataupun di gardu induk, memiliki konstruksi yang hampir serupa. Komponen utama dari LA adalah varistor/ komponen aktif yang terbuat dari Zinc Oxide. Varistor ini berbentuk keping blok, tersusun di dalam *housing*/ kompartemen yang terbuat dari porselen ataupun polymer. Selain sebagai penyangga, housing ini juga berfungsi untuk mengisolasi antara bagian bertegangan dan tanah pada tegangan operasi LA.



Gambar 3. Konstruksi LA

## Grading Ring

Granding ring diperlukan pada LA dengan ketinggian > 1.5 meter atau pada LA yang dipasang bertingkat. Granding ring berfungsi sebagai control distribusi medan elektrik sepanjang permukaan LA. Medan elektrik pada bagian yang dekat dengan tegangan akan lebih tinggi, sehingga stress pada active part di posisi tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan pada posisi dibawahnya. Stress ini dapat menyebabkan degradasi pada komponen active part. Pemilihan ukuran granding ring perlu mempertimbangkan jarak antar fasa.



Gambar 4. Granding Ring LA

### **Peralatan Monitoring dan Insulator Dudukan**

LA dilengkapi dengan peralatan monitor, yakni counter jumlah kerja LA dan / atau meter arus bocor total. Sebelum diketanahkan, kawat pentanahan dilewatkan dahulu pada peralatan monitor, maupun pada dudukan LA, agar arus yang malalui LA hanya melewati kawat pentanahan.

### **Tegangan Sistem**

Tegangan sistem ialah tegangan tertinggi yang mungkin timbul pada kawat. Tegangan tertinggi ini timbul pada waktu gangguan kawat ke tanah. Tegangan tertinggi itu tergantung juga pada metode pembumian sistem. Tegangan sistem maksimum kawat ke tanah, biasanya diambil 110 % dari tegangan jala – jala. Pengaruh dari sistem pembumian terhadap tegangan maksimum yang timbul pada kawat dalam keadaan gangguan kawat ke tanah.

### **Tegangan Pengenal Arrester**

Pada umumnya pengenal atau rating arrester hanya pengenal tegangan. Pada beberapa tabung pelindung atau arrester jenis ekspulsi perlu diperhatikan pengenal arusnya yang menentukan kapasitas termal arrester

tersebut. Supaya pemakaian arrester lebih efektif dan ekonomis, perlu diketahui 4 karakteristik nya yaitu karakteristik pengenal tegangan, karakteristik impuls, karakteristik pemutusan arus frekuensi dasar, karakteristik kemampuan menahan atau melewatkan arus surja.

### **Kelonggaran Perlindungan**

Kelonggaran perlindungan atau “protective margin” ialah selisih antara Tingkat Isolasi Dasar (TID) isolasi peralatan yang dilindungi dan tingkat perlindungan arrester. Besar kelonggaran ini biasanya diambil 20% dari TID peralatan, bila arrester itu dipasang cukup dekat dengan peralatan

### **Persyaratan Yang Harus Dipenuhi Oleh Arrester**

Tegangan percikan (sparkover voltage) dan tegangan pelepasannya (discharge voltage), yaitu tegangan pada terminal pada waktu pelepasan, harus cukup sehingga dapat mengamankan isolasi peralatan. Tegangan percikan tersebut disebut juga tegangan gagal sela (gap breakdown voltage) sedangkan pelepasan disebut juga tegangan sisa (residual voltage) atau tegangan jatuh (voltage Drop).

Arrester harus mampu memutuskan arus dinamik dan dapat bekerja terus seperti semula. Batas tegangan sistem dimana arus susulan ini masih mungkin, disebut tegangan dasar.

### **Gardu Induk**

Gardu induk adalah suatu instalasi yang terdiri dari peralatan listrik yang berfungsi untuk :

- a) Mengubah tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ke tegangan tinggi yang lainnya untuk tegangan menengah.
- b) Pengukuran, pengawasan, operasi serta pengaturan pengamanan sistem tenaga listrik.
- c) Pengaturan daya ke Gardu-gardu Induk lain melalui tegangan tinggi dan Gardu-gardu Distribusi melalui gawai tegangan menengah.

### **METODE PENELITIAN**

Metode penelitian yang dilakukan adalah perbandingan hasil observasi lapangan terhadap hasil perhitungan teori. Untuk itu diperlukan data teoritis sesuai spesifikasi

peralatan, juga data hasil observasi lapangan untuk dianalisa dan dibandingkan.

**Gardu Induk TAMORA**

Gardu Induk Tamora merupakan jenis gardu induk Konvensional atau gardu induk pasangan luar yang dilihat menurut jenis, peranan, dan letak pemasangannya. Gardu Induk Tamora memiliki 3 Trafo Daya , yaitu :

- a) Trafo Daya 1 , 60 MVA merek UNINDO.
  - b) Trafo Daya 2 , 60 MVA merek PAUWELS.
  - c) Trafo Daya 3 , 60 MVA Merek PASTI.
- Trafo daya ini dilengkapi dengan 3 jenis arrester yaitu:

- L.A I : ASEA Tipe XAR 170A3/144
- L.A II : BOWTHROPE BRIGHTON ENGLAND / IMP 75
- L.A III : MCGRAWEDISON/F-30

Dalam penelitian ini pembahasan fokus pada Arrester ASEA Tipe XAR 170A3/144 seperti yang diperlihatkan Gambar 3.1 yang terhubung dengan trafo I merek UNINDO 906007289 yang bekerja pada tegangan 150 KV seperti diperlihatkan Gambar 5.



Gambar 5.Arrester ASEA Tipe XAR170A3/144



Gambar 6. Trafo type UNINDO 906007289

Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan di gardu induk Tamora beberapa komponen yang di amati antara lain :

- Arrester
  - Merk : ASEA
  - Tipe : XAR 170A3/144
  - Tegangan Maksimum : 170 kV
  - Tegangan Operasi : 150 kV
  - Tegangan Nominal : 144 kV
  - Class : 10 kA
  - Impuls Petir : 10/20  $\mu$ s
  - Tahanan : 6,6 ohm
  
- Trafo Daya
  - Merk : UNINDO
  - Type : Outdoor
  - Phasa : 3 phasa
  - Tegangan Primer : 150 KV
  - Tegangan Sekunder : 20 KV
  - Daya transformator : 60 VA
  - Tegangan Impedansi : 12,40%
  - BIL transformator : 650/325KV
  - Frekuensi : 50 Hz

Hasil pegamatan diperlihatkan Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3

Tabel 1.Penetapan Tingkat Isolasi Transformator Dan Arrester

SPESIFIKASI	TEGANGAN NOMINAL SISTEM		
	150 KV	66 KV	20 KV
Tegangan Tinggi Untuk Peralatan	170 KV	72,5 KV	24
Pentanahan Netral Transformator	Efektif	Tahanan	Tahanan
Tegangan Pengenal (sisi Tegangan Tinggi)	150 KV	66 KV	20 KV
Tingkat Isolasi Dasar (TID)	650 KV	325 KV	125 KV
Penangkap Petir	138 KV	75 KV	21 KV
Tegangan Pengenal Arus Pelepasan Nominal	150 KV	10 KV	24 KV
	10 KV	5 kA	5 KA
Tegangan Pelepasan	460 KV	270 KV	76 KV
	500 KV		87 KV
Tegangan percikan denyut muka gelombang (MG)	530 KV	310 KV	88 KV
	577 KV		100 KV
Tegangan percikan denyut standar	460 KV	270 KV	76 KV
	500 KV		87 KV
Kelas	10 KA	10 KA	5 KA
	tugas berat	tugas ringan	Seri A
	10 KA	5 KA	
	tugas ringan	seri A	

Tabel 2. Karakteristik Kerja Arrester

**HASIL DAN ANALISIS Data Penelitian**

Penge- nal Tegangan Arrester Gardu induk kV (rms)	Tegangan Perceik Maksimum kV (*)				Tegangan Pelepasan untuk Arus 10 x 20 μ det							
	Jenis Arrester Gardu induk	Jenis Distrib.			5000 amp		10.000 amp		20.000 amp			
		Katub	Eks- Pulsi	Jenis Gardu	l) Jenis Distrib	Jenis Gardu	l) Jenis Distrib	Jenis Gardu	l) Jenis Distrib			
3	15	23	44	11	17	13	20	14	23			
6	27	46	62	22	34	25	38	27	44			
9	40	62	80	33	51	37	57	39	66			
12	50	78	110	44	62	48	69	52	78			
15	61	89	115	55	77	60	87	65	99			
18	...	107	137	...	85	...	94	...	110			
		Jenis Saluran		Jenis Saluran		Jenis Saluran		Jenis Saluran				
20	83	90	...	74	96	80	106	86	116			
25	102	111	...	92	116	90	128	110	139			
30	122	132	...	110	139	119	155	130	172			
37	151	163	...	137	172	146	180	160	208			
40	157	176	...	148	185	159	204	169	280			
50	205	220	...	184	232	197	255	211	280			
60	246	264	...	220	278	239	312	258	344			
73	300	320	...	270	342	288	378	313	414			
97	397	...	...	356	...	384	...	415	...			
109	446	...	...	400	...	434	...	467	...			
121	495	...	...	444	...	482	...	518	...			
145	592	...	...	536	...	576	...	622	...			
160	693	...	...	634	...	672	...	725	...			
195	797	...	...	713	...	768	...	832	...			
242	988	...	...	888	...	960	...	1035	...			

Tabel3. Harga maksimum Tegangan Lebih Gelombang Petir

Arrester Rating kV rms	Front steepness FOW kV μs	10 kA Light-and heavy- Duty and 5 kA Serie A	
		Std kV peak	FOW kV peak
1	2	3	4
108	870	363	418
120	940	940	463
126	980	420	495
138	1030	460	530
150	1080	500	577
174	1160	570	660
186	1180	610	702
198	1200	649	746

Sumber : PT PLN (Persero)

**Menentukan Tegangan Sistem Maksimum**

Menentukan Tegangan sistem maksimum dengan rumus:

$$V_m = V_{nominal} \times 110\% \text{ (faktor toleransi)}$$

$$= 150 \text{ kV} \times 1,1$$

$$V_m = 165 \text{ KV}$$

Berdasarkan standar PLN dan hasil penelitian, tegangan sistem maksimum dapat mencapai 170 KV. Sehingga digunakan tegangan sistem tertinggi sebesar 170 KV.

**Tegangan pengen-  
nal**

- Sistem 150 KV
  - Sistem pembumian langsung, maka koefisien pembumiannya adalah 0.8
- Maka Tegangan pengen-  
nal dihitung dengan rumus :

$$E_a = (V_{kerja \text{ arrester}} \times \text{Koefisien pembumian}) \times 110 \%$$

$$E_a = (150 \text{ kV} \times 0,8) \times 1,1$$

$$E_a = 135 \text{ kV}$$

Berdasarkan perhitungan menentukan Tegangan pengen-  
nal lightning arrester didapatkan tegangan sebesar 135 kV, tetapi lightning arrester dengan nilai tegangan pengen-  
nal 135 kV tidak ada, sehingga digunakan tegangan pengen-  
nal dengan nilai arrester rating 138 kV, dapat dilihat pada Tabel 4.3 .

**Menentukan Koordinasi Sistem 150 KV**

- Kelas 10 KA
- Tegangan Pengenal 150 KV
- Tingkat Isolasi Dasar trafo 650 KV
- Tegangan Kerja 500 KV

Maka :

Tingkat Perlindungan Arrester adalah

$$E_a = 500 \times 1,1$$

$$E_a = 550 \text{ KV}$$

**Menentukan Baik atau Tidaknya perlindungan yang diberikan Arrester terhadap Trafo**

- Tegangan Arrester 500 KV
- TID arrester untuk tegangan pengen-  
nal 150 KV adalah 750 KV

Maka :

Tingkat perlindungan arrester adalah

$$= E_a + 10\% (E_a)$$

$$= 500 \text{ KV} + 0,1 (500 \text{ KV})$$

$$= 550 \text{ KV}$$

Faktor Perlindungan adalah

$$= 750 \text{ KV} - 550 \text{ KV}$$

Umumnya Faktor perlindungan diambil 20% dari TID peralatan

$$\text{TID peralatan} = 20\% \times 750 \text{ KV}$$

$$= 150 \text{ KV}$$

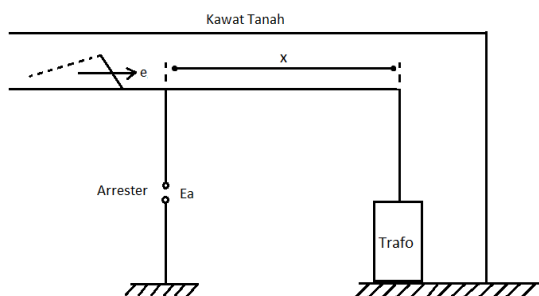
Karena Faktor perlindungan (200 KV), lebih besar dari TID peralatan (150 KV), maka pemilihan arrester dengan tegangan pengen-  
nal 150 KV sudah baik.

Pada analisa perhitungan didapat tegangan pengen-  
nal arrester sebesar 135 KV, sedangkan tegangan pengen-  
nal sesuai standart PLN yaitu 138 KV, maka hasil perhitungan dalam penelitian ini sudah baik dan memenuhi standart.



### Perhitungan Jarak Lightning Arrester dengan Transformator

Perlindungan yang baik diperoleh jika arrester ditempatkan sedekat mungkin dengan transformator. Tetapi dalam kenyataannya arrester harus ditempatkan dengan jarak tertentu, agar perlindungan optimal baik.



Gambar 7. Jarak Arrester dengan Transformator sebesar X

Tabel 4. Data Hasil Penelitian Pada Gardu induk TAMORA

Tegangan Sistem (KV)	TID Trafo (KV)	TID Arrester (KV)	Tegangan Pelepasan Arrester (KV)	Jarak Arrester Ke Trafo	Kecepatan Rambat Gelombang (m/?s)
150	650	750	577	3	300

Sumber : PT.PLN (Persero) Gardu Induk TAMORA

Dari data yang diperoleh pada Tabel 4 , dapat ditentukan jarak maksimum antara Lightning Arrester terhadap Transformator.

Diketahui:

- Tegangan Pelepasan Arrester (Ea) adalah 577 kV
- Tingkat Isolasi Dasar Arrester (Et) adalah 650 kV
- Kecuraman Gelombang datang ( $\mu$ ) adalah 1000 kV/ $\mu$ s
- Kecepatan Rambat Gelombang adalah 300 m/ $\mu$ det
- Surja datang dengan kecuraman gelombang 1000 kV/ $\mu$ s,

sehingga dapat ditentukan jarak maksimum arrester menggunakan persamaan berikut :

$$Et = Ea + 2 \frac{\mu X}{v}$$

$$650 = 577 + 2 \frac{1000 X}{300}$$

$$73 = 2 \frac{1000 X}{300}$$

$$X = \frac{73}{6.66}$$

$$X = 10,96 \text{ meter}$$

Jadi jarak menurut perhitungan antara arrester dengan transformator adalah 10,96 meter, sedangkan di Gardu Induk TAMORA jarak arrester dengan transformator dipasang dengan jarak 3 meter, sehingga pemasangannya masih dibawah harga maksimum. Maka jarak pemasangan Arrester di Gardu Induk TAMORA dikatakan baik.

### KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pembahasan dan pengamatan di lapangan di peroleh kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Arrester merupakan pengaman tenaga listrik yang efektif pada gardu induk karena arrester dapat menyalurkan tegangan lebih surja petir langsung ke tanah, sehingga tidak mengganggu kontinuitas dari pelayanan tegangan listrik ke konsumen.
- 2) Pada keadaan normal, arrester akan bersifat sebagai isolator dan bila timbul surja petir maka arrester akan bersifat sebagai konduktor. Setelah surja petir itu hilang maka arrester harus dengan cepat kembali bersifat isolator, sehingga circuit breaker (CB) tidak akan sempat membuka.
- 3) Dari Hasil analisis jarak maksimum Transformator dengan Arrester adalah 10,96 meter, Sedangkan jarak Transformator dengan Arrester yang terpasang pada Gardu Induk TAMORA adalah 3 meter.
- 4) Menurut hasil analisa, jarak arrester dengan dengan peralatan yang diproteksi pada Gardu Induk TAMORA 150 KV mampu melindungi peralatan dari gangguan surja petir, karena jaraknya masih dibawah harga jarak maksimum.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suyono, D. 2012. Alat Pengaman Pintu Rumah menggunakan RFID (Radio Frekuensi Identification) 125 KHz Berbasis Mikrokontroler ATmega328. Skripsi. Program Studi Teknik Elektronika Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- [2] Saputro, Eko. 2016. Rancang Bangun Pengaman Pintu Otomatis Menggunakan e-KTP Berbasis Mikrokontroler ATmega328, Skripsi. Program Studi Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. Semarang
- [3] Simanihukur, Frika N. 2020. Rancang Bangun Pengaman Pintu Otomatis Menggunakan e-

KTP dan Sidik Jari (Finger Print Fpm 10a) Berbasis SMS Gateway. Skripsi. Program Studi S1-Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara. Medan

- [4] Hutajulu, Melati. 2018. Perancangan Palang Pintu Kereta Api Otomatis. Skripsi. Program Studi Teknik Elektro Universitas HKBP Nommensen. Medan
- [5] <https://teknikelektronika.com/pengertian-piezoelectric-buzzer-cara-kerja-buzzer/>
- [6] <https://ejournal.gunadarma.ac.id/index.php/infokom/article/view/1723>
- [7] <https://stikma.ac.id/wp-content/uploads/2017/07/5.-jurnal-STT-STIKMA-Vol.7-No.1-hal-40-51.pdf>