

**ANALISIS PENENTUAN JARAK EFEKTIF ARESTER SEBAGAI ALAT PROTEKSI
TRANSFORMATOR DARI TEGANGAN BERLEBIH MENGGUNAKAN *SOFTWARE* ATP
(*ANALYSIS TRANSIENT PROGRAMME*)**

Oleh :

Panji Fajar Ilahi

ABSTRAK

Tegangan lebih adalah tegangan yang hanya dapat ditahan untuk waktu yang terbatas. Tegangan lebih petir merupakan tegangan lebih periodik yang disebabkan karena sebab luar (*External Over Voltage*). Lightning Arester 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 Arester tipe OHIO BRASS. yang terhubung dengan transformator (trafo) Daya II. Perlindungan yang baik diperoleh bila arester ditempatkan sedekat mungkin pada jepitan trafo. Tetapi, dalam praktek arester itu harus ditempatkan dengan jarak S dari trafo yang dilindungi. Karena itu, jarak tersebut ditentukan agar perlindungan dapat berlangsung dengan baik.

Kata Kunci : Tegangan Lebih, Arester, Transformator, Jarak Arester.

1. Pendahuluan

Gangguan listrik pada Gardu Induk dapat disebabkan oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal dapat seperti kurang baiknya peralatan itu sendiri sedangkan faktor eksternal dapat berupa kesalahan manusia atau human eror dan dapat karena gangguan alam seperti petir, gempa, banjir, angin dan lain-lain. Ada beberapa macam gangguan pada saluran transmisi yang disebabkan oleh faktor alam maupun faktor lainnya. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem transmisi salah satunya adalah surja petir atau surja hubung.

Petir sering menyebabkan gangguan pada sistem tegangan tinggi dari 150 sampai 500 kV. Sedangkan pada sistem dibawah 20 kV, yang menjadi sebab utamanya adalah surja hubung. Karena letak Negara Indonesia di daerah tropis, gangguan yang sering dialami adalah gangguan yang disebabkan oleh alam yaitu petir yang menyebabkan tegangan berlebih dan untuk menggambarkan jumlah petir sering di sebutkan melalui *Isokeraunic Level* (IKL) yaitu angka yang menggambarkan jumlah hari guruh per tahun. Hampir semua gangguan pada saluran 187 kV keatas

disebabkan oleh petir, dan lebih dari 70% dari semua gangguan pada saluran 110-154 kV disebabkan karena gejala-gejala alamiah termasuk petir (Arismunandar,1993:69).

Gardu Induk sebagai salah satu tempat terpenting karena sebagai penyalur energi listrik ke konsumen perlu dilindungi atau di proteksi dari gangguan yang disebabkan oleh petir. Dan beberapa jenis gangguan pada saluran tenaga listrik yang memang tidak semuanya bisa dihindarkan. Untuk itu perlu dicari upaya pencegahan agar bisa memperkecil kerusakan pada peralatan listrik.

Lightning Arrester disingkat Arester atau sering disebut penangkal petir, adalah alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir

Tegangan sistem (kV)		Faktor uji Jarak BU (Sec)
Ukuran	Kapasitansi	
38	145	550
		550
61	170	450
		710
110	142	550
		750
230	142	1050
		900

2. LANDASAN TEORI

2.1. Umum

Tegangan lebih akibat sambaran petir sangat berbahaya bagi koordinasi isolasi. Tegangan lebih ini dapat merusak bahan isolasi atau merusak peralatan yang ada. Dalam sistem penyaluran tenaga listrik, penggunaan lightning arrester sebagai alat proteksi tegangan lebih pada

aplikasi metode koordinasi isolasi banyak berorientasi pada perlindungan peralatan terhadap bahaya sambaran petir.

2.2. Petir

Petir merupakan sebuah fenomena alam berupa kilatan cahaya disertai suara menggelegar yang sering dijumpai menjelang atau ketika hujan. Namun bukan berarti ketika hujan akan selalu disertai dengan petir. Petir hanya terjadi jika terdapat awan *Cumulonimbus* (Cb). Petir terjadi karena adanya perbedaan potensial antara dua medium. Dalam hal ini dua medium tersebut yaitu antara awan dan bumi atau awan dengan awan.

2.2.1. Mekanisme Surja Petir

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan atau pengumpulan muatan diawan begitu banyak dan tak pasti. Tekanan atmosfer akan menentukan dengan makin bertambahnya ketinggian suatu tempat dari permukaan horizontal. Pergerakan udara (sering disebut angin) ini akan membawa udara lembab ke atas, kemudian udara lembab ini mengalami kondensasi menjadi uap air, lalu berkumpul menjadi titik-titik air yang pada akhirnya membentuk awan.

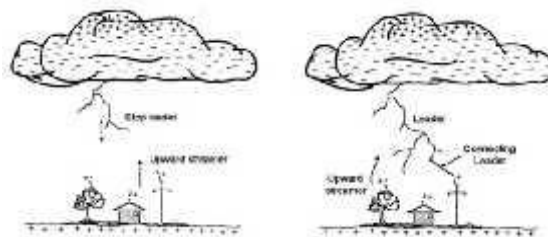
Angin kencang yang meniup awan akan membuat awan mengalami pergeseran secara horizontal maupun vertikal. Ditambah dengan benturan antara titik-titik air yang dalam awan tersebut dengan partikel-partikel udara, yang dapat memungkinkan

terjadinya pemisahan muatan listrik didalam awan tersebut.

Butiran air yang bermuatan positif, biasanya berada bagian atas dan yang bermuatan negatif dibagian bawah. Dengan adanya awan yang bermuatan maka akan timbul muatan induksi pada permukaan bumi sehingga menimbulkan medan listrik antara bumi dengan awan.

Mengingat dimensinya, bumi dianggap rata terhadap awan sehingga bumi dengan awan dapat dianggap sebagai dua plat sejajar membentuk kapasitor. Jika medan listrik yang terjadi melebihi medan tembus udara, maka akan terjadi pelepasan muatan. Terjadinya pelepasan udara inilah yang disebut sebagai petir.

Setelah adanya peluahan diudara sekitar awan bermuatan yang medan listriknya cukup tinggi, terbentuk peluahan awal yang biasa disebut *pilot leader*. *Pilot leader* ini menentukan arah perambatan muatan dari awan ke udara, diikuti dengan titik-titik cahaya. Setiap sambaran petir bermula dari suatu lidah petir (*leader*) yang bergerak turun dari awan bermuatan



dan disebut *downward leader* seperti yang di tunjukkan pada (Gambar 2.1) *Downward leader* ini bergerak menuju bumi dalam bentuk langkah-langkah yang disebut *step leader*.

Gambar 2.1 Proses Terjadinya Petir

2.3. Lightning Arrester

Lightning Arrester (LA) merupakan peralatan yang berfungsi untuk melindungi peralatan listrik lain dari tegangan surja (baik surja hubung maupun surja petir) (PLN , Buku Pedoman Pemeliharaan 2014:2)

2.4. Pemilihan Tingkat Isolasi Dasar (BIL)

BIL ini menyatakan tingkat isolasi terhadap petir. Agar pemakaian arester 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.

Berikut ini adalah tabel (2.1) yang menunjukkan perbandingan BIL dengan tegangan sistem maksimum:

Tabel 2.1. Perbandingan BIL dengan tegangan sistem (Hermagasantos, 1994:131)

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

$$IM = (BIL/ KIA - 1) \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Misalkan

$$IM = (125 \text{ kV}/ 133,3 - 1) \times 100\% = 94,5\%$$

Keterangan:

IM = Impuls Margin (%)

KIA = Tegangan Pelepasan Maksimum Arestor (kV)

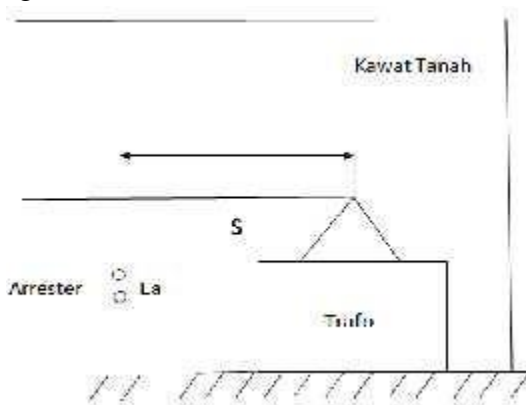
BIL = Tingkat Isolasi Dasar (kV)

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

2.5. Teori Penghitungan Jarak Maksimum

2.5.1. Jarak Maksimum Arestor dan Trafo yang Dihubungkan dengan Saluran Udara

Untuk menentukan jarak maksimum arestor dan peralatan yang dilindungi yang dihubungkan langsung dengan saluran udara dianggap sebagai jepitan terbuka, seperti yang ada pada (gambar 2.2) berikut ini:



Gambar 2.2. Skema jarak transformator dan arestor dengan jarak S (Hutauruk, 1991:112)

Perlindungan yang baik diperoleh bila arestor ditempatkan sedekat mungkin pada jepitan trafo. Tetapi,

dalam praktek arestor itu harus ditempatkan dengan jarak S dari trafo yang dilindungi. Karena itu, jarak tersebut ditentukan agar perlindungan dapat berlangsung dengan baik.

Keterangan (Gambar 2.2) :

E_a = Tegangan percik arestor (arestor sparkover voltage)

E_p = Tegangan pada jepitan trafo

$A = de/dt$ = kecuraman gel datang, dan dianggap konstan

S = Jarak antara arestor dengan trafo

v = kecepatan merambat gelombang

Apabila trafo dianggap jepitan terbuka, yaitu keadaan yang paling berbahaya, apabila gelombang mencapai trafo akan terjadi pantulan total, dan gelombang ini kembali ke kawat saluran dengan polaritas yang sama, waktu yang dibutuhkan oleh gelombang untuk merambat kembali ke arestor $2S/v$. Bila arestor mulai memercik maka tegangan pada jepitan arestor adalah:

$$E_a = A t + A(t - 2S/v) = 2At - 2A S/v \quad \text{(Hutauruk, 1991:113) ... (2.2)}$$

Bila waktu percik arestor t_{so} , dihitung mulai gelombang itu pertama kali sampai pada arestor, maka dari persamaan diatas menjadi:

$$t_{so} = \frac{E_a + 2AS/v}{2A} \quad \text{(Hutauruk, 1991:113) (2.3)}$$

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

- $A(t - t_{so})$ (Hutauruk, 1991:113) (2.4)

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

$$\begin{aligned} E_p &= 2 A t - 2 A(t - t_{so}) \\ &= 2 A t_{so} \\ &= 2A \frac{E_a + 2AS/v}{2A} \end{aligned}$$

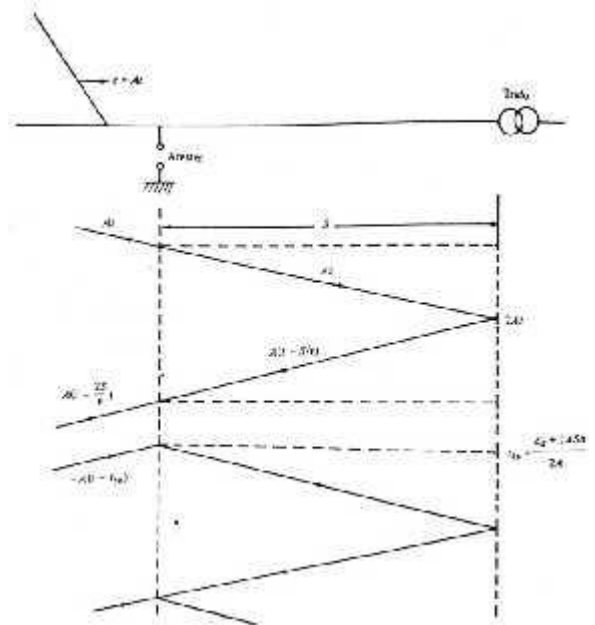
Atau

$$E_p = E_a + 2 A S/v \dots\dots\dots(2.5)$$

Harga maksimum $E_p = 2 E_a$.

Bila tegangan tembus isolator trafo = E_p , maka E_p harus lebih besar dari , ($E_a + 2 AS/v$) agar diperoleh perlindungan yang baik. Untuk mengubah harga E_p cukup dengan mengubah S, yaitu makin kecil S maka makin kecil pula E_p .

Maka hasil perhitungan dari data lapangan yang kita dapat nantinya dapat di buat menjadi diagram tangga antara lightning arrester dan transformator yang dapat di lihat pada (gambar 2.3) :



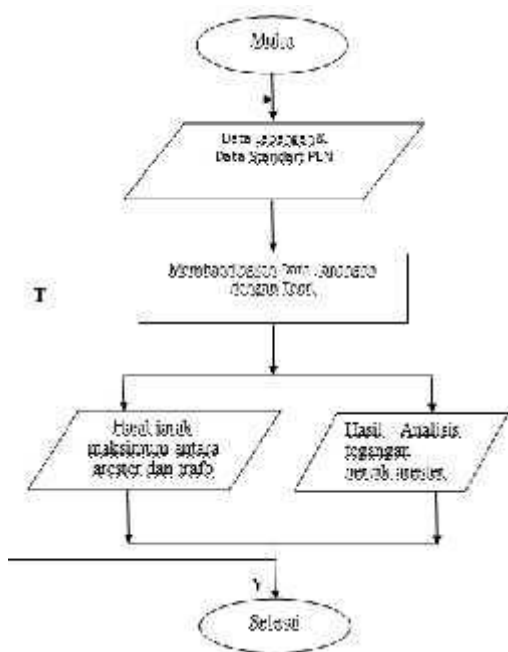
Gambar 2.3. Diagram tangga antara lightning arrester dan transformator (Hutauruk, 1991:114)

3.1 Metode Penelitian

3.2 Flowchart Penelitian

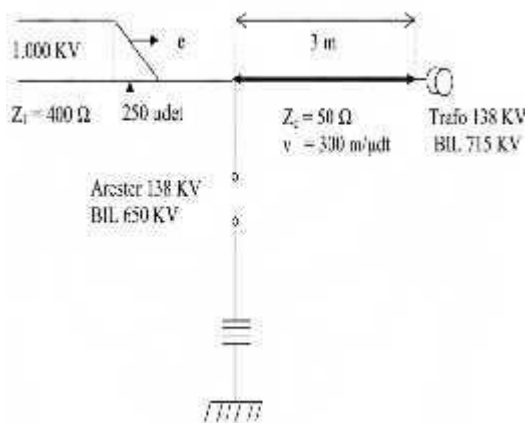
Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian.

Penelitian ini dimulai dengan mengambil data lapangan dan data standart PLN. Setelah data terkumpul, maka peneliti melakukan analisa perhitungan berdasarkan teori dari *literatur* agar selanjutnya diketahui berapa jarak maksimum antara lightning arrester dengan trafo daya dan mendapatkan hasil analisis tegangan percik lightning arrester.



4.1. Hasil

Data yang di peroleh dari hasil penelitian terhadap peralatan Gardu Induk 150 kV Godean yang disajikan dalam bentuk diagram tangga adalah sebagai berikut:



Gambar 4.1. Konstruksi Diagram Tangga

4.2. Pembahasan

Dari hasil survey penelitian diketahui bahwa arrester terpasang pada saluran guna untuk melindungi semua peralatan, dengan pembahasan:

4.2.1. Penghitungan jarak arrester dengan trafo

Diketahui bahwa tegangan sistem peralatan adalah sebagai berikut, tegangan transmisi 150 KV dengan BIL 715 KV. Trafo dilindungi oleh arrester dengan tegangan percik 650 KV, dengan jarak perlindungan terhadap peralatan adalah sejauh 3 meter, misalkan surja yang datang sebagai variable percobaannya, merambat menuju peralatan yang dilindungi arrester dengan kecepatan 300 m/ μ dt, berapakah jarak maksimum antara arrester dan peralatan, sehingga semua peralatan itu terlindungi dari bahaya surja?

Diketahui :

$$E_p = 715 \text{ KV}$$

$$E_a = 650 \text{ KV}$$

$$A = 1000 \text{ dv/dt}$$

$$v = 300 \text{ m}/\mu\text{dt}$$

Ditanya : S (Jarak maksimum antara arrester dengan trafo)?

Surja petir sebesar 1.000 dv/dt, setelah dihitung secara matematis di peroleh jarak maksimum arrester adalah sebesar :

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

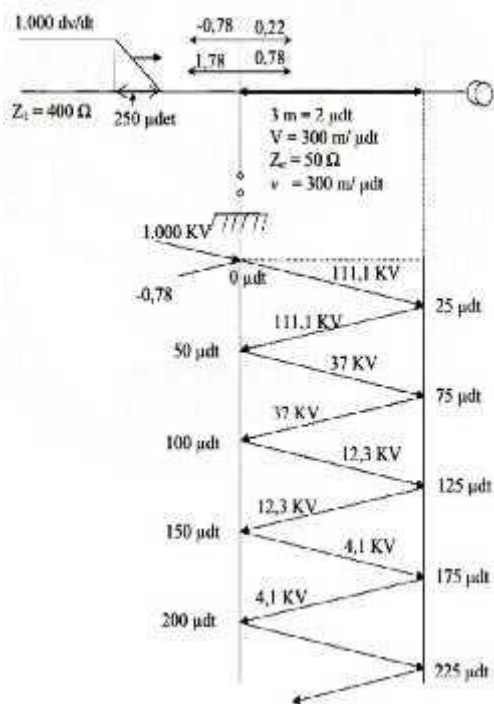
$$715 = 650 + 2 \frac{1000}{300} S$$

$$S = 9,75 \text{ M}$$

Padahal dalam kenyataan dilapangan dipasang sejauh 3 meter, sehingga pemasangannya masih di bawah harga maksimum.

4.2.2. Analisis tegangan percik arester

Untuk nilai kecuraman gelombang di atas sebesar 1000 dv/dt merupakan harga tertinggi yang dapat terjadi dari kenaikan tegangan akibat surja petir, sehingga diambil nilai maksimal tegangan berlebih yang dapat terjadi pada trafo. Hasil penghitungan percik arester dan kenaikan tegangan pada trafo di perlihatkan pada analisis diagram tangga di bawah ini:



Gambar 4.2. Analisis diagram tangga

Pertama kita harus menentukan adalah waktu pada saat arester

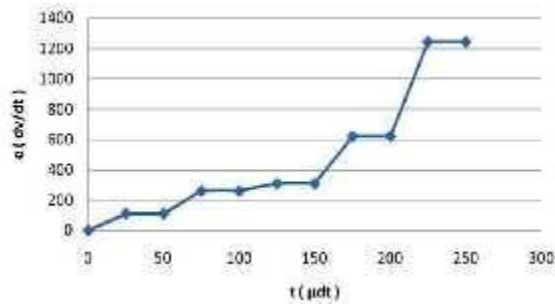
mengalami percikan. Misalkan dulu tidak ada arester, maka tegangannya:

- t = 0 tegangan = 0 KV
- t = 25 tegangan = 111,1 KV
- t = 50 tegangan = 111,1 KV
- t = 75 tegangan = 111,1 + 111,1 = 222,2 KV
- t = 100 tegangan = 259,2 KV
- t = 125 tegangan = 259,2 + 12,3 = 271,5 KV
- t = 150 tegangan = 308,5 KV
- t = 175 tegangan = 308,5 + 29,3 = 337,8 KV
- t = 200 tegangan = 370,1 KV
- t = 225 tegangan = 621,1 + 4,1 + 12,3 = 637,5 KV
- t = 250 tegangan = 1243,6 KV

Kecuraman gelombang yang diperoleh dari masing-masing penghitungan berdasarkan waktu terjadinya yang disajikan dalam bentuk tabel adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1. Kecuraman gelombang berdasarkan waktunya

NO.	Waktu/ t (μdet)	Kecuraman Gelombang/ e (dv/dt)
1	0	0
2	25	111,1
3	50	111,1
4	75	259,2
5	100	259,2
6	125	308,5
7	150	308,5
8	175	621,1
9	200	621,1
10	225	1243,6
11	250	1243,6



Gambar 4.3. Grafik kecuraman gelombang berdasarkan waktu

Berdasarkan tabel 4.1. dapat diketahui bahwa ecuraman gelombang akan selalu meningkat sebanding dengan kenaikan waktu. Pada waktu tertentu dan kecuraman gelombang tertentu arester akan memercik (*spark over*). Tegangan pada lokasi arester dan waktu untuk mencapainya dapat di peroleh dari analisis diagram tangga, Gambar 4.2. Naik tegangan pada lokasi arester diberikan dalam Gambar 4.3. Sesuai perhitungan waktu arester berikut : Analisis tegangan percik arester:

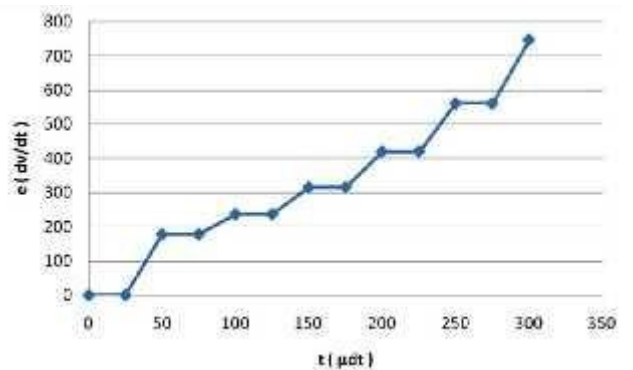
$$\begin{aligned}
 t = 0 \mu\text{det} & \quad ; e = 0 \text{ KV} \\
 t = 25 \mu\text{det} & \quad ; e = 333,3 \text{ KV} \\
 t = 50 \mu\text{det} & \quad ; e = 333,3 \text{ KV} \\
 t = 75 \mu\text{det} & \quad ; e = 333,3 + 333,3 = 666,6 \text{ KV} \\
 \text{waktu percik arester (ts0):} \\
 ts0 & = 8 + \Delta t \text{ (Hutaaruk, 1988: 115)} \\
 & = \frac{Ea + 2AS/v}{2A} \\
 ts0 & = 333,3 + 1,777 \frac{369,9}{2} \Delta t \\
 650 & \\
 1300 & = 666,6 + 657,3 \Delta t \\
 \Delta t & = 0,96
 \end{aligned}$$

Naik tegangan pada trafo adalah sebagai berikut:

- t = 0 μdet ; e = 0 KV
- t = 25 μdet ; e = 0 KV
- t = 50 μdet ; e = 177,7 KV
- t = 75 μdet ; e = 177,7 KV
- t = 100 μdet ; e = 177,7 + 59,2 = 236,9 KV
- t = 125 μdet ; e = 236,9 KV
- t = 150 μdet ; e = 236,9 + 78,9 = 315,8 KV
- t = 175 μdet ; e = 315,8 KV
- t = 200 μdet ; e = 315,8 + 105,2 = 421 KV
- t = 225 μdet ; e = 421 KV
- t = 250 μdet ; e = 421 + 140,2 = 561,2 KV
- t = 275 μdet ; e = 561,2 KV
- t = 300 μdet ; e = 561,2 + 186,9 = 748,1 KV

Tabel 4.2. Naik tegangan pada trafo

No	Waktu t (μdet)	Sesungguhnya Gelombang e (kV/dt)
1	0	0
2	25	0
3	50	177,7
4	75	177,7
5	100	236,9
6	125	236,9
7	150	315,8
8	175	315,8
9	200	421
10	225	421
11	250	561,2
12	275	561,2
13	300	748,1



J:

Gambar 4.4. Grafik naik
tegangan

p
a
d
a
t
r
a
f
o

Berdasarkan Gambar 4.4. dapat diketahui bahwa besar tegangan pada trafo juga mengalami penambahan terus berbanding lurus dengan kenaikan atau bertambahnya waktu. Tegangan pelepasannya ditentukan dari perhitungan $4,55 \times 138 \text{ KV} = 627,9 \text{ KV}$, ditambah dengan toleransi 20 % menjadi 753,5 KV lebih tinggi dari BIL yang hendak dilindungi.

Tegangan pada trafo akan mengalami penurunan setelah arester memercik pada waktu 10,21 μdet . Dan karena BIL transformator 715 KV, sedangkan tegangan yang timbul puncaknya sampai 748,1 KV pada 300 μdet , maka arester masih mampu melindungi trafo tersebut.

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan: “Optimasi Jarak Maksimum Penempatan Lightning Arrester Sebagai Proteksi Trafo Pada Gardu Induk”, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil analisis matematis, jarak pemasangan dari Arester tipe OHIO BRASS masih mampu melindungi trafo dari gangguan surja petir dan surja hubung dengan tegangan sampai 1000 KV.
2. Berlangsungnya percikan arester masih berada dalam batas aman sesuai dengan analisis matematis.
3. Naik tegangan yang terjadi pada trafo masih berada pada toleransi yang di perbolehkan sebesar 20 % lebih tinggi dari BIL dari trafo, sehingga trafo masih terlindungi oleh arester.

5.2. Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa saran antara lain:

1. Pemasangan arester berdasarkan jaraknya dengan trafo masih dalam batas aman yaitu antara jarak 3 m sampai 9, 75 m.
2. Perlu adanya pengujian atau penghitungan dengan teori lain seperti Witzke-Bliss untuk bisa membandingkan hasil penghitungan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Arismunandar, A. 1978. *Teknik Tegangan Tinggi*. PT. Pradnya Paramitha. Jakarta.
2. Tobing, L. Bonggas. 2001. *Peralatan Tegangan Tinggi*. Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi, Jurusan Teknik Elektro-Fakultas Teknik Elektro Sumatera Utara, Medan.
3. T. S. Hutaauruk. 1991. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Erlangga. Jakarta.
4. Hermagasantos. 1994. *Teknik Tegangan Tinggi*. PT. Rosda Jayaputra. Jakarta.
5. PLN (Persero). 2010. *Buku Pedoman Pemeliharaan dan Asesmen Kondisi Peralatan Sistem Tenaga*. Lightning Arrester, PT PLN (Persero)
6. PLN (Persero). 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan*. Lightning Arrester, PT PLN (Persero). Jakarta.