

ANALISIS PERLINDUNGAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI YANG EFEKTIF TERHADAP SURJA PETIR

Lory M. Parera*, Ari Permana**

Abstract

Pemanfaatan energi listrik secara optimum oleh masyarakat dapat terpenuhi dengan sistem distribusi yang handal. Dalam pendistribusian energi listrik diperlukan pengetahuan mendasar tentang kekuatan peralatan-peralatan sehingga pelayanan dapat berlangsung dengan baik disaat operasi normal maupun saat terjadi gangguan pada sistem. Transformator merupakan salah satu peralatan yang sangat penting dalam sistem distribusi. Transformator distribusi berfungsi sebagai pengubah tegangan menengah dari saluran distribusi primer menjadi tegangan rendah pada saluran distribusi sekunder. Petir yang menyambar saluran distribusi menimbulkan surja tegangan. Surja tegangan ini merupakan salah satu penyebab kerusakan pada transformator dan mengakibatkan terganggunya sistem dalam menghantarkan daya listrik. Perlindungan transformator distribusi dari sambaran petir direncanakan sebaik mungkin dengan menggunakan alat pelindung transformator yang tepat dan penempatannya pada posisi yang setepat mungkin. Dan oleh karena itu posisi dari arrester harus di tempatkan dengan tepat sehingga surja dapat dideteksi dengan tepat. Tempat-tempat dengan tingkat sambaran petir tinggi (frekuensi maupun intensitasnya mendapat prioritas pertama dalam penangulangannya). Transformator distribusi pasangan luar yang terpasang pada tiang terkadang menjadi sasaran sambaran surja petir, sambaran petir yang terjadi dapat menimbulkan kerusakan. Untuk itu diperlukan perencanaan sistem perlindungan transformator dalam menentukan posisi peralatan perlindungan dari kemungkinan sambaran petir, sehingga kerusakan dan kerugian dapat diatasi dan sistem dapat bekerja dengan baik dalam menghantarkan daya listrik.

Keyword : surja petir, arrester transformator distribusi,

I. PENDAHULUAN

Dalam lapisan atmosfer bumi pada keadaan tertentu timbul gerakan angin ke atas membawa udara lembab. Makin tinggi dari permukaan bumi, maka makin semakin rendah tekanan dan suhunya. Uap air mengalami kondensasi menjadi titik-titik air dan membentuk awan.

Tiupan angin kencang membawa awan lebih tinggi lagi sehingga membentuk kristal es yang bermuatan positif dan bagian bawah awan terkonsentrasi muatan negatif yang akan menyebabkan terinduksinya muatan positif diatas permukaan tanah sehingga membentuk medan listrik antara awan dan tanah. Bila muatan bertambah, beda potensial antara awan dan tanah juga naik sehingga kuat medan listrik udara dilampaui maka terjadi pelepasan muatan berupa petir.

Pada proses pelepasan petir akan terjadi aliran elektron dari awan ke tanah, lidah petir akan bergerak bertahap tergantung pada tersedianya elektron di udara, ini dinamakan pelopor peloncat (stepped leader). Jika lidah petir mendekati objek yang berdekatan akan terkonduksi muatan yang berlawanan dan bergerak menuju lidah petir tadi. Muatan positif akan bergerak ke pelopor peloncat dan dinamakan petir penghubung (connecting leader).

II. KAJIAN TEORITIS

II.1 Bentuk Surja Petir

Sambaran petir yang bergerak menimbulkan gelombang berjalan pada kawat saluran. Rambatan surja terdiri dari surja tegangan dan surja arus dengan kecepatan yang bergantung pada konstanta-konstanta kawat. Pada saat surja mencapai titik peralihan akan terjadi distorsi pada gelombang tersebut sehingga terdapat sedikit perbedaan dengan gelombang asal. Bentuk gelombang berjalan dengan nilai sesaat digambarkan sebagai berikut.

Defenisi dari suatu surja akibat tegangan impuls petir menurut standar IEC :

1. Tegangan puncak (Crest Voltage) :
$$= V(t) \frac{dv}{dt} = 0$$

Adalah amplitudo maksimum dari gelombang yang dinyatakan dalam kV

2. Titik Nol = 01
Adalah titik potong antara garis AB dengan sumbu waktu, dengan titik A dan titik B berturut-turut 30 % dan 90 % dari tegangan puncak.
3. Waktu sampai puncak (Time of Crest) = T1

* Lory Parera, Dosen Jurusan Elektro Politeknik Negeri Ambon.

** Ari Permana, Dosen Jurusan Elektro Politeknik Negeri Ambon

Adalah waktu yang diperlukan tegangan impuls untuk naik dari 30 % sampai 90 % tegangan puncak di bagi 0,6

$$T_1 = T / 0,6$$

T₁ adalah muka gelombang dan didefinisikan sebagai bagaian dari gelombang yang dimulai dari titik nol sampai titik puncak.

T₁ standar adalah 1,2 μ detik dengan toleransi 30 %

4. Waktu sampai setengah puncak dan ekor = T₂
Adalah waktu antara titik nol nominal hingga titik pada ekor ketika tegangan turun sampai setengah harga puncak (T_c).
T₂ standar adalah 50 μ detik dengan toleransi 20 %
5. Kecuraman muka gelombang (Front steepnes)
Adalah kecepatan naiknya tegangan pada muka gelombang. Kecuraman muka rata-rata untuk mudahnya dinyatakan sebagai perbandingan antara tegangan puncak dan lamanya muka gelombang.

II.2 Gangguan Petir pada Saluran Udara Tegangan Menengah

Gangguan petir pada saluran distribusi atau saluran udara tegangan menengah (SUTM) dibedakan atas dua macam menurut cara terjadinya sambaran, yaitu sambaran langsung dan sambaran tidak langsung.

1. Sambaran Langsung

Sambaran langsung adalah apabila petir menyambar kawat fasa (untuk saluran tanpa kawat tanah) atau ke kawat tanah (saluran menggunakan kawat tanah). Pada waktu petir menyambar kawat tanah atau kawat fasa akan timbul arus besar dan sepasang surja yang merambat pada kawat. Besarnya arus atau tegangan akibat sambaran tergantung pada besar arus petir, waktu muka dan jenis tiang saluran.

a. Saluran tanpa kawat tanah

Pada saluran kawat tanah, hampir semua sambaran petir yang berpengaruh adalah arus puncak dengan kecuraman arus diabaikan.

$$I = I_0 \frac{Z_k}{Z_k + \frac{Z_s}{2}} \dots\dots\dots (1)$$

Untuk saluran udara dengan jari-jari konduktor (r) dan tinggi diatas permukaan tanah (h), akan mempunyai induktansi sebesar.

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{2h}{r} [H/m] \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

2h : Deq
r : Ds

dan kapasitansi :

$$C = \frac{10^{-9}}{18 \ln \frac{2h}{r}} [F/m] \dots\dots\dots (3)$$

Impedansi Surja :

$$Z_s = \sqrt{\frac{L}{C}} [\Omega] \dots\dots\dots (4)$$

Substitusi persamaan 2, 3 ke dalam persamaan 4 :

$$Z_s = \sqrt{\frac{2 \ln \left(\frac{2h}{r}\right) \cdot 10^{-7}}{\frac{10^{-9}}{18 \ln \frac{2h}{r}}}}$$

Sehingga :

$$Z_s = 60 \ln \frac{2h}{r} [\Omega] \dots\dots\dots (5)$$

b. Saluran dengan kawat tanah

Pada saluran distribusi (SUTM) tidak semua tiang dikebunikan, tetapi selang tiga sampai empat gawang tiang yang dikebunikan mempunyai tahanan kontak 5-50 ohm dan yang tidak dikebunikan bisa mencapai ribuan ohm tergantung jenis pondasi dan keadaan tanah.

2. Sambaran tidak Langsung

Pada saluran distribusi gangguan petir akibat sambaran induksi lebih banyak terjadi dibandingkan dengan akibat sambaran langsung, bahkan mencapai lebih dari 80 % dari semua kasus sambaran petir.

Bila terjadi sambaran petir ke tanah di dekat saluran maka akan terjadi fenomena transien akibat medan elektromagnetis dari kanal petir. Pada kawat penghantar akan timbul tegangan lebih induksi dan surja yang merambat pada kawat ditempat sambaran langsung.

Tegangan induksi yang timbul pada kawat akibat sambaran induksi petir, berbeda untuk saluran yang menggunakan kawat tanah dan tanpa kawat tanah.

I.3 Pengaruh Surja Petir pada Sisi Primer Transformator

Bila surja dengan tegangan yang sangat tinggi merambat pada saluran dan menerpa transformator, maka timbul tegangan lebih pada transformator. Tegangan lebih tersebut akan terdistribusi secara tidak seragam pada belitan transformator sehingga menyebabkan tekanan (stresses) dan dapat mengakibatkan kerusakan pada transformator dan mengganggu pelayanan daya listrik

Akibat yang ditimbulkan oleh surja tegangan terhadap peralatan tenaga listrik ini, maka diperlukan koordinasi isolasi antara peralatan listrik dengan alat-alat pelindung yang dipasang. Sehingga ada korelasi antara daya isolasi peralatan listrik dan karakteristik alat-alat pelindungnya.

Untuk itulah diperlukan suatu koordinasi sistem perlindungan yang optimum dengan memperhatikan beberapa hal.

1. Pengisolasian transformator secara tepat
2. Penggunaan alat pelindung terhadap surja petir baik di sisi primer maupun sisi sekunder
3. Peletakan alat pelindung dengan peralatan yang dilindungi.

a. Distribusi tegangan permulaan

Pada frekuensi rendah 50 Hz gulungan transformator mempunyai sifat sebagai induktansi (bila tahanan diabaikan) tetapi bila frekuensi semakin tinggi maka reaktansi karena induktansi semakin besar. Sedangkan reaktansi kapasitif antara belitan dengan belitan dan antara belitan dengan tanah menjadi kecil sekali. Akibatnya arus yang terjadi karena tegangan frekuensi tinggi akan mencari jalan melalui kapasitansi. Bila gelombang tegangan impuls dengan muka gelombang sangat curam dan frekuensi mencapai tak terhingga menerpa transformator, maka pada belitan transformator akan terdistribusi tegangan permulaan. Hal ini disebabkan adanya kapasitansi yang menyebabkan mengalirnya arus kapasitif melewati kapasitansi antar gulungan sehingga timbul konsentrasi tegangan pada ujung belitan transformator yang dihubungkan dengan kawat saluran primer.

b. Distribusi tegangan akhir

Setelah kondisi awal akibat impuls, beberapa kapasitansi belitan terhadap tanah pada ujung belitan primer akan termuat (charged), sedangkan sisanya tidak termuat. Kapasitansi belitan terhadap tanah (Cg) akan membuat jalan ke tanah. Pada bagian belitan yang jauh dari saluran, arus akan cenderung mengalir melalui jalan tersebut. Setelah muatan pada ujung belitan primer dilepaskan dan tegangan terminal dipertahankan untuk ekor gelombang, distribusi tegangan selanjutnya akan menjadi seragam.

c. Isolasi transformator

Pengisolasian transformator berhubungan dengan tegangan sistem saluran distribusi (SUTM) di Indonesia terbagi atas :

- Tegangan primer : 6 kV, 12 kV dan 20 kV
- Tegangan sekunder : 127 V dan 220 V untuk satu fasa , 220/380 V

Pemakaian isolasi haruslah rasional dan ekonomis mungkin dengan tidak mengurangi kemampuan sebagai isolator. Di lain pihak diperlukan alat-alat pelindung guna melindungi peralatan listrik tersebut.

Koordinasi isolasi diartikan dalam bentuk langkah-langkah yang diambil untuk menghindari kerusakan pada transformator karena tegangan lebih. Jadi diperlukan korelasi antara daya isolasi transformator dan karakteristik alat-alat pelindung terhadap tegangan lebih, yang masing-masing ditentukan oleh tingkat ketahanan impuls dan tingkat perlindungan impulsnya. Tingkat ketahanan impuls biasanya berdasarkan pertimbangan :

- Tingkat kepadatan sambaran petir disuatu tempat
- Macam sistem pembumian netral
- Jenis peralatan pelindung tegangan lebih yang digunakan

Isolasi transformator distribusi didasarkan atas tingkat isolasi impuls dasar (TID). Tingkat isolasi dasar didefinisikan sebagai tingkat patokan yang dinyatakan dalam tegangan puncak impuls suatu gelombang dasar, yaitu menurut IEC adalah $1,2 \times 50 \mu$ detik.

Dalam menentuka TID transformator biasanya terlebih dahulu ditentukan tegangan tertinggi peralatan yang besarnya 10 % diatas tegangan nominal sistem.

$$V_{max} = V_{nominal} + 10\%$$

$$V_{max} = V_{nominal} \times 1,1$$

Tabel 1. Tingkat isolasi dasar (TID) transformator

Tegangan tertinggi peralatan (rms)	Tingkat tegangan ketahanan impuls petir (puncak)		Tingkat tegangan ketahanan hubung singkat Frekuensi - Daya
	Daftar 1 (kV)	Daftar 2 (kV)	
kV			kV
1,1	-	-	5
3,6	20	40	10
7,2	40	60	20
12	60	75	28
17,5	75	95	38
24	95	125	50
36	15	170	70

II.3 Pemilihan Tingkat Pengenal Arrester

a. Tegangan pengenal arrester (rating arrester)

Tegangan pengenal arrester adalah tegangan saat arrester dapat bekerja sesuai dengan karakteristiknya. Arrester tidak boleh bekerja pada tegangan maksimum sistem, tetapi mampu memutuskan arus susulan dari sistem secara efektif. Arrester umumnya tidak boleh bekerja jika ada gangguan fasa ke tanah, karena tegangan pengenalnya lebih tinggi dari tegangan gangguan fasa ke tanah.

Untuk menentukan tegangan maksimum yang mungkin terjadi pada gangguan fasa ke tanah, perlu diketahui :

- Tegangan maksimum sistem
Umumnya diambil harga 10 % dari harga nominal sistem
- Koefisien pembumian
Didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan rms fasa ke tanah, dalam keadaan gangguan pada tempat dimana arrester dipasang dengan tegangan rms fasa ke tanah tertinggi dari sistem dalam keadaan tanpa gangguan.

Untuk sistem yang dibumikan koefisien pembumiannya 0,8 (arrester 80 %) dan sistem yang

tidak dibumikan langsung koefisien pembumiannya 1,0 (arrester 100 %). Tegangan pengenalan dari suatu arrester merupakan tegangan rms fasa ke fasa tertinggi dikalikan dengan koefisien pembumian.

- ◆ Jika dibumikan langsung :

$$V_m = 1,1 \times V_{fn} = 1,1 \times V_{nom} / \sqrt{3}$$

Dimana :

- V_m = tegangan maksimum fasa ke netral
- V_{fn} = tegangan nominal sistem fasa ke netral
- V_{nom} = tegangan nominal sistem fasa ke fasa

- ◆ Jika tidak dibumikan langsung :

$$V_a = V \times 1,10 \times 1,0$$

Tabel 2. Karakteristik arrester

Pengenalan Arrester (kV)	Keamanan FOW (kV/μ det)	10 kA dan 5 kA		5 kA	
		STD (kV)	FOW (kV)	STD (kV)	FOW (kV)
3	25	13	15	13	15
4,5	37	17,5	20	17,5	20
6	50	22,6	26	22,6	26
7,5	62	28	31	28	31
9	76	32,5	38	32,5	38
12	100	43	50	43	50
15	125	54	62	54	62
18	150	65	75	65	75
21	175	76	88	76	88
24	200	87	100	87	100
27	225	97	112	97	112
30	250	108	125	108	125
33	275	119	137	119	137
36	300	130	150	130	150

STD = Tegangan percikan impuls maksimum
 FOW = Tegangan percikan impuls muka gelombang

- b. Tegangan percikan impuls maksimum (maksimum impuls sparkover voltage)

Merupakan tegangan gelombang impuls tertinggi yang terjadi pada arrester. Jika tegangan puncak surja petir yang datang mempunyai harga yang lebih tinggi atau sama dengan tegangan percikan maksimum arrester, maka arrester akan bekerja memotong surja dan mengalirkannya ke tanah.

- c. Tegangan kerja arrester

Biasa juga disebut tegangan pelepasan atau tegangan sisa, merupakan tegangan yang timbul pada terminal arrester pada saat arus petir mengalir ke tanah. Tegangan kerja arrester tergantung pada kecuraman gelombang arus yang datang.

Tabel 3. Tegangan kerja arrester

Pengenalan arrester (kV)	10 kA, Tugas ringan & Tugas berat (kV)	5 kA (kV)	2,5 kA (kV)	1,5 kA 9kV
0,175	-	-	2,2	2,2
0,280	-	-	2,5	2,5
0,500	-	-	3,0	3,0
0,660	-	-	5,0	5,0
3	13	13	13	-
4,5	17,5	17,5	17,5	-
6	22,6	22,6	22,6	-
7,5	27	27	27	-
9	32,5	32,5	32,5	-
10	38	38	38	-
12	43	43	43	-
15	54	54	54	-
18	65	65	65	-
21	76	76	76	-
24	87	87	87	-
27	97	97	97	-
30	108	108	108	-
33	119	119	119	-
36	130	130	130	-
39	141	141	-	-

- d. Arus pelepasan nominal (nominal discharge current)

Merupakan arus pelepasan dengan harga puncak dan bentuk gelombang tertentu untuk menentukan kela arrester sesuai dengan :

- Kemampuan melewati arus
- Karakteristik perlindungan

Arrester harus dapat menyalurkan arus sesuai dengan kemampuannya.

Dalam menentukan besar arus pelepasan arrester, ada beberapa langkah yang dilakukan yaitu :

Menentukan harga puncak surja yang sampai pada lokasi arrester

Untuk menentukan besarnya surja yang sampai ke arrester tidak terlepas dari peranan isolator saluran distribusi.

Isolator mempunyai tegangan lompatan api frekuensi daya (kering/basa) dan tegangan lompatan api impuls.

Harga puncak surja merupakan tingkat ketahanan impuls saluran, sebagai faktor keamanan terhadap kemungkinan timbulnya variasi tegangan yang menyebabkan terjadinya lompatan api pada isolator saluran distribusi, maka ditambahkan toleransi 20 %. Jadi puncak surja yang akan mencapai lokasi arrester :

$$V_{puncak} = \text{TID saluran} + 20 \%$$

$$V_{puncak} = \text{TID saluran} \times 1,2$$

III. METODE PENELITIAN

Dalam metode penelitian ini ada beberapa hal yang akan diamati antara lain :

Mengamati secara jelas masalah dilapangan, terutama penempatan arrester yang dapat menyebabkan terjadinya sambaran petir.

Menentukan faktor perlindungan arrester dilakukan agar dapat mengetahui besar perbedaan tegangan antara tingkat isolasi dasar (TID) transformator yang dilindungi dengan tegangan kerja arrester. Untuk menentukan tingkat perlindungan arrester umumnya diambil harga 10 % diatas tegangan kerja arrester, dengan tujuan untuk mengatasi kenaikan tegangan pada kawat penghubung dan toleransi pabrik.

Melakukan evaluasi atau penyesuaian dilapangan terhadap arrester yang sudah dipasang sebelumnya pada tiang-tiang yang berdekatan dengan tranformator distribusi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Penentuan Tingkat Isolasi Dasar Transformator

Perencanaan sistem perlindungan transformator distribusi dalam menentukan posisi peralatan pelindung dari kemungkinan bahaya surja petir, yang paling awal dilakukan adalah menentukan tingkat kekuatan isolasi impuls dasar.

Transformator yang akan dilindungi terletak pada saluran udara tegangan menengah (SUTM) dengan data-data yang bervariasi antara lain :

- Kapasitas terpasang : 250 kVA
- Tegangan primer : 20 kV
- Tegangan sekunder : 220 / 380 V

Transformator jenis ini merupakan jenis gardu yang terpasang pada tiang dengan tegangan sistem primer 20 kV, maka diperoleh tegangan tertinggi peralatan :

$$\begin{aligned} V_{max} &= V_{nominal} \times 1,1 \\ V_{max} &= 20 \times 1,1 \\ &= 22 \text{ kV} \end{aligned}$$

IV.2 Pemilihan Arrester Sisi Primer

Menentukan Tegangan Pengenal Arrester :

Tegangan pengenal arrester merupakan tegangan rms fasa ke fasa tertinggi dikalikan dengan koefisien pembumian. Dalam hal ini dikategorikan sistem pembumian tidak langsung dengan koefisien pembumian adalah 1,0 maka :

- Tegangan sistem maksimum
 $= V_{nominal} + 10 \%$ (faktor toleransi)
 $= 20 \times 1,1$
 $= 22 \text{ kV}$
- Tegangan pengenal arrester
 $= 22 \times 1,0$
 $= 22 \text{ kV}$

Menentukan Tegangan Terminal Arrester :

Arrester yang digunakan mempunyai tegangan pengenal 24 kV dengan kecuraman surja (dv/dt) dari tabel 2-2 adalah 200 kV / μ detik.

Jadi kecepatan naiknya tegangan surja adalah :

$$\frac{200 \text{ kV} / \pi \text{ detik}}{24 \text{ kV}} = 8,33 \text{ kV} / \pi \text{ detik}$$

Dari karakteristik, didapat tegangan sela gagal = 3,6 kV/ μ detik/kV rating maka :

Tegangan terminal arrester = tegangan sela gagal x tegangan pengenal

$$V = 3,6 \times 24$$

$$V = 86,4 \text{ kV}$$

Menentukan Tegangan Percikan Impuls Maksimum :

Untuk menentukan besar tegangan percikan impuls maksimum dengan tegangan pengenal arrester 24 kV, maka dengan menggunakan tabel karakteristik arrester diperoleh tegangan percikan impuls maksimum sebesar 100 kV.

Menentukan Tegangan Kerja Arrester :

Untuk menentukan tegangan kerja arrester digunakan tabel 2-3. Dari tabel ini diperoleh tegangan kerja arrester sebesar 87 kV.

IV.3 Menentukan Arus Pelepasan Arrester

Menentukan Harga Puncak Arrester :

Isolator yang digunakan pada jaringan lurus sistem distribusi primer mempunyai data-data seperti pada tabel tegangan kerja arrester :

Berdasarkan tabel tegangan kerja arrester ini dipilih isolator :

- Type KM – 2605
- Tegangan lompatan api impuls (TID saluran) = 340 kV

Maka harga puncak surja :

$$\begin{aligned} V_{puncak} &= 1,2 \times \text{TID saluran} \\ &= 1,2 \times 340 \\ &= 408 \text{ kV} \end{aligned}$$

Menentukan Arus Pelepasan Nominal Arrester :

Arus pelepasan nominal arrester digunakan untuk menentukan kelas dari arrester. Arus pelepasan nominal arrester yang diperoleh adalah :

$$I_a = \frac{2 V_{puncak} - V_a}{Z_s}$$

$$= \frac{(2 \times 408000 - 86400)}{448,987}$$

$$= 1,625 \text{ kA}$$

Dari hasil ini dipilih arrester dengan kelas arus 2,5 kA atau 5 kA

Untuk daerah yang mempunyai frekuensi sambaran petir yang tinggi dan kemungkinan arus surja dengan puncak yang tinggi maka kelas arus 2,5 kA tidak relevan digunakan

Menentukan Arus Pelepasan Maksimum Arrester :

Untuk menentukan besar arus pelepasan maksimum arrester dapat menggunakan kelas arus 5 kA didapat arus pelepasan maksimum arrester sebesar 65 kA

Menentukan Impedansi Kawat Surja :

$$Z_s = 60 \ln \frac{2h}{r}$$

Keterangan :

h = tinggi kawat fasa ke tanah = 9 m

r = jari-jari konduktor kawat = $\frac{d}{2}$

Penghantar yang digunakan adalah jenis Cu dengan luas penampang 1 x 50 mm² dan Al dengan luas penampang 1 x 70 mm². Diameter penghantar d = 15,25 mm sehingga,

$$r = \frac{15,25}{2}$$

$$= 7,625 \text{ mm}$$

$$= 7,625 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Dengan demikian :

$$Z_s = 60 \ln \frac{2 \times 9}{7,625 \times 10^{-2}}$$

$$= 327,84657 \Omega$$

Menentukan Faktor Perlindungan :

Dalam menentukan faktor perlindungan, maka yang pertama-tama dihitung adalah tingkat perlindungan arrester yaitu :

$$\text{Tingkat Perlindungan} = V_a \times 10 \%$$

$$= V_a \times 1,1$$

$$= 87 \times 1,1$$

$$= 95,7 \text{ kV}$$

Jadi diperoleh faktor perlindungannya adalah :

$$FP = \frac{TID_{trafo} - TP}{TID_{trafo}} \times 100 \%$$

$$FP = \frac{125 - 95,7}{125} \times 100 \%$$

$$FP = 23,44 \%$$

Faktor perlindungan yang diperoleh adalah 23,44 % dari faktor toleransi 20 % sehingga pemilihan arrester

sudah dapat memberikan faktor perlindungan yang baik.

Mengubah Letak Arrester :

Pada prakteknya, PLN biasanya memasang arrester dengan panjang penghantar antara terminal arrester dengan transformator distribusi sejauh 2,5 meter. Untuk jarak tersebut, pada keadaan surja yang datang tidak terlalu curam dan arus puncak surja tidak terlalu tinggi, maka perlindungan arrester masih dapat dikatakan baik.

Misalnya surja dengan bentuk gelombang 8 x 20 μ detik sampai pada lokasi arrester dimana puncak arus 10 kA dan waktu sampai ke puncak 8 μ detik.

Maka kenaikan tegangan pada kawat arrester :

$$L \frac{di}{dt} = L \cdot e \frac{I_p}{tp}$$

$$= 0,37 \times 2,718 \times \frac{10}{8}$$

$$= 1,257075 \text{ kV/ft}$$

$$= 4,1242618 \text{ kV/m} \quad (1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m})$$

Jika panjang penghantar (s) = 2,5 meter, maka kenaikan tegangan pada kawat penghantar adalah :

$$= 4,1242618 \times 2,5$$

$$= 10,31 \text{ kV}$$

Misalkan surja yang datang mempunyai bentuk gelombang 4 x 10 μ detik, dengan puncak arus 25 kA dan waktu sampai puncak 4 μ detik, maka kenaikan tegangan pada kawat arrester adalah :

$$L = \frac{di}{dt} = 0,37 \times 2,718 \times \frac{25}{4}$$

$$= 6,285375 \text{ kV/ft}$$

$$= 20,62131 \text{ kV/m}$$

Panjang penghantar (s) = 2,5 meter, maka kenaikan tegangannya :

$$= 20,62131 \times 2,5$$

$$= 51,55327 \text{ kV}$$

Pada kasus pertama terlihat bahwa kenaikan tegangan sebesar 10,31 kV masih belum berpengaruh. Tetapi untuk kasus kedua, kenaikan tegangan kawat arrester sebesar 51,55327 kV sudah melampaui toleransi 10 % yang diisyaratkan pada perhitungan tingkat perlindungan arrester sehingga tidak memungkinkan untuk faktor perlindungan yang baik.

Kenaikan tegangan pada kawat arrester dengan dengan variasi panjang penghantar antara terminal arrester dengan transformator distribusi diperlihatkan dalam lampiran-lampiran.

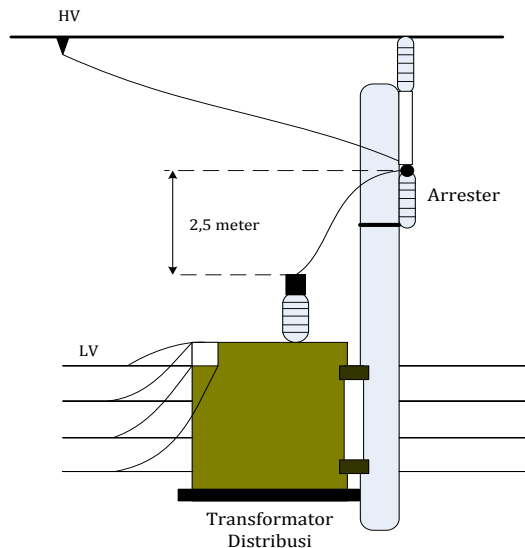
Pada keadaan yang sebenarnya, kenaikan kawat arrester tidak berlangsung secara linier karena adanya pengaruh elemen tahanan nol linier dan kecepatan naiknya puncak arus surja yang tidak linier. Walaupun demikian kenaikan tegangan kawat arrester dari hasil perhitungan tidak berbeda jauh dengan keadaan yang sebenarnya.

Terlihat bahwa pada jarak 0,6 meter, kenaikan pada kawat arrester masih bisa ditolerir. Dari hasil perhitungan ini sebaiknya arrester dipasang dengan panjang penghantar sejauh 0,6 meter dari transformator.

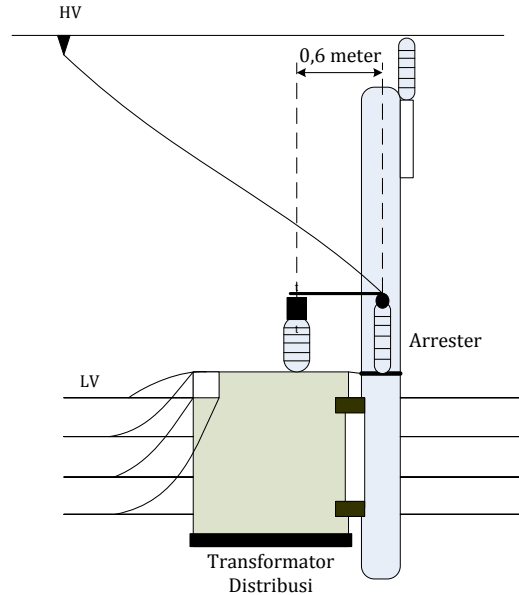
Tabel 2. Besar kenaikan tegangan kawat arrester pada jarak, puncak arus surja dan kecuraman yang bervariasi.

Arus Surja (Puncak) (kV)	Bentuk Gelombang (μ detik)	Waktu sampai puncak arus (detik)	Panjang kawat antara arrester dengan transformator (meter)	Kenaikan tegangan (L di/dt) (kV)
10	8 x 20	8	2,5	10,31
			1,5	6,18639
			0,6	2,47455
	4 x 10	4	2,5	20,62
			1,5	12,37278
			0,6	4,9491
25	8 x 20	8	2,5	25,7766
			1,5	15,46597
			0,6	5
	4 x 10	4	2,5	51,5532
			1,5	30,93195
			0,6	12,37278

Gambar. 1. Letak Penempatan Arrester Sebelum Pengubahan



Gambar. 2. Letak Penempatan Arrester Sesuai Hasil Perhitungan



Pemilihan Arrester Sisi Sekunder :

Menentukan Tegangan Pengenal Arrester :

Untuk menentukan tegangan pengenal arrester sisi sekunder menggunakan cara yang sama seperti pada arrester sisi primer :

- Tegangan sistem maksimum :
 $= V_{nominal} + 10\%$ (faktor toleransi)
 $= 38 \times 1,1$
 $= 418$ Volt
- Tegangan pengenal arrester :
 $= 418 \times 1,0$
 $= 418$ Volt

Berdasarkan tegangan tertinggi peralatan digunakan arrester dengan tegangan pengenal 500 Volt.

Menentukan Arus Pelepasan Arrester :

Arus arrester sisi sekunder sebaiknya mempunyai kapasitas pelepasan surja arus yang sama dengan arrester sisi primer. Hal ini maksudkan untuk mengantisipasi sambaran petir secara vertikal ke tanah melewati saluran distribusi primer dan sekunder.

- Untuk arus pelepasan nominal :
 Dipilih kelas arus pelepasan 2,5 kA pada bentuk gelombang (8 x 20) μ detik.
- Untuk arus pelepasan maksimum :
 Dari kelas arus pelepasan nominal 2,5 kA, arrester dapat melepaskan arus maksimum 25 kA pada bentuk gelombang (4 x 20) μ detik.

V. KESIMPULAN

Semakin dekat jarak arrester ke transformator distribusi, maka semakin baik tingkat perlindungannya. Berdasarkan hasil perhitungan kenaikan tegangan pada kawat arrester, diperoleh jarak pasang untuk suatu perlindungan yang baik adalah dengan panjang penghantar antara terminal arrester dan transformator distribusi sejauh 0,6 meter.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A., 2007, *Teknik Tegangan Tinggi*, PT. Pradnya Paramita.
- Hutauruk, T.S., 1989, *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*, Erlangga, Jakarta.
- Hutauruk, T.S., 1991, *Pengentanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengentanahan Peralatan*, Erlangga, Jakarta.
- Iskandar, Faried., 1990, *Perhitungan Distribusi Tegangan pada Transformator Tenaga yang Terkena Impuls*, UI. Jakarta.
- Kadir, Abdul., 1989, *Transformator*, PT. Elek Media Komputindo, Jakarta.
- Pabla, A.S., 1986, *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Erlangga, Jakarta.