

ANALISA PROTEKSI PETIR PADA GARDU DISTRIBUSI 20 KV PT PLN (PERSERO) RAYON INDERALAYA

Rahayu^{1*}, Ansyori¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, *E-mail : rahayu0719@gmail.com

Abstrak-Dalam pendistribusian energi listrik, terkadang mengalami gangguan dalam proses penyalurannya sehingga berpengaruh dengan kontinuitas pelayanan distribusi daya listrik ke konsumen, salah satu penyebabnya adalah gangguan yang disebabkan oleh petir. Petir merupakan suatu peristiwa alam yang terjadi karena proses pemuatan energi listrik di awan. Karena ada awan bermuatan negatif dan awan bermuatan positif, petir juga bisa terjadi antar awan yang berbeda muatan. dimana salah satu awan bermuatan negatif dan awan lainnya bermuatan positif. Pada tugas akhir ini, dibahas tentang analisa proteksi petir pada gardu distribusi 20 kV PT PLN (Persero) Rayon Inderalaya, maka akan di analisa proteksi petir yang digunakan berdasarkan jarak antara arrester dan transformator. Dengan jumlah hari guruh 142, dan data-data konstruksi saluran udara, maka didapat lebar bayang-bayang sebesar 50,06208 meter dan luas bayang-bayang 5,006208 km² per 100 km saluran., jumlah sambaran ke saluran sebanyak 106,63223 sambaran per 100 km per tahun. dan besarnya tegangan induksi ke saluran sebesar 225,08706 kV. Jarak ideal antara arrester dan transformator adalah 2,06573 m, sedangkan yang terpasang di lapangan adalah 1,5 m. Kondisi ini bisa dikatakan aman. Pada saat diaplikasikan dalam diagram tangga, besarnya tegangan yang dirasakan transformator dibawah nilai BIL transformator pada pantulan pertama selama 0,005 μ s.

Kata Kunci: Petir, Arrester, Transformator, Gelombang Berjalan

Abstract-In distribution of electrical energy, that sometimes get disturbance in distribution process so that had an effect on continuance electric power distribution service to the consumer, one of causing is disturbance by lightning. Lightning is natural phenomenon which happen by electrical energy charging process on the cloud. There is a cloud which had negative charge and positive charge. Lightning sometimes happen in inter-cloud whose had different charge, which one of cloud with negative charge and another cloud with positive charge. In this final assignment, is investigated about analyze lightning protection in use base on distance of arrester and transformer. With quantity of isokeraunic level is 142 and the data distribution line, the importance of the width of the shadow of 50.06208 meters wide and shadows 5.006208 km² per 100 km line, number of lightning strikes to the line as much as 106.63223 per 100 km per year. And the magnitude of the induced voltage to the line of 225.08706 kV. The ideal distance between arrester and transformer is 2.06573 m. While mounted on the ground is 1.5 m. This condition can be said to be safe. At the moment applied in the ladder diagram, the perceived magnitude of the voltage transformer transformer under BIL value at the first reflection for 0.005 μ s.

Keywords. Lightning, Arrester, Transformer, Traveling Wave

I. PENDAHULUAN

Pada era yang modern ini, kehidupan manusia tidak dapat dipisahkan dari segala peralatan yang sumbernya dari listrik. Seperti yang telah kita ketahui, energi listrik dibangkitkan oleh pembangkit listrik kemudian dialirkan melalui saluran transmisi, saluran distribusi dan akhirnya sampai ke konsumen.

Dalam pendistribusian energi listrik, terkadang mengalami gangguan dalam proses penyalurannya sehingga berpengaruh dengan kontinuitas pelayanan distribusi daya listrik ke konsumen, salah satu penyebabnya adalah gangguan yang disebabkan oleh petir. Letak Indonesia yang berada di garis khatulistiwa menyebabkan Indonesia beriklim tropis sehingga panas dan mempunyai kelembaban yang tinggi, hal inilah yang menyebabkan Indonesia memiliki banyak hari guruh dan kerapitan sambaran petir yang tinggi.

Petir merupakan fenomena alam yang terjadi karena disebabkan oleh pemuatan energi listrik serta pelepasan muatan-muatan listrik yang terjadi antara awan dan bumi, awan ke awan serta dalam awan itu sendiri yang mempunyai polaritas yang berbeda.

Akibat yang ditimbulkan dari sambaran petir sangatlah merugikan karena dapat mengurangi keandalan penyaluran energi listrik, sehingga pemenuhan energi ke konsumen dapat terganggu. Sambaran petir yang terjadi pada saluran distribusi biasanya dapat berupa sambaran langsung dan sambaran tidak langsung

A. Perumusan Masalah

Adapun masalah yang dapat dirumuskan pada jurnal ini adalah sebagai berikut :

1. Menghitung besarnya jumlah sambaran ke saluran distribusi.
2. Menghitung besarnya tegangan induksi yang dirasakan oleh kawat fasa pada saat tersambar petir.

- Mengidentifikasi dan menentukan jarak ideal *arrester* terhadap transformator berdasarkan perhitungan dan membandingkannya dengan jarak *arrester* dan transformator yang terpasang di lapangan.
- Mengaplikasikan metode perhitungan ke dalam diagram tangga dan melihat apakah jarak yang terpasang antara *arrester* dan transformator sudah aman.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah pada jurnal ini adalah sebagai berikut:

- Perhitungan dan analisa dilakukan di Saluran Udara Tegangan Menengah dan salah satu Gardu Distribusi 20 KV PT PLN (PERSERO) Rayon Indralaya
- Perhitungan dan analisa dilakukan pada saluran tanpa kawat tanah dan kawat netral.

C. Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan jurnal ini yaitu :

- Melakukan perhitungan jumlah sambaran petir yang terjadi pada saluran udara tegangan menengah sepanjang 100 km² per tahun ditinjau berdasarkan parameter petir yang ada dan data-data saluran 20 KV.
- Mengetahui besarnya tegangan sambaran induksi berdasarkan data-data parameter petir yang telah didapat.
- Melakukan analisa jarak ideal *arrester* terhadap transformator berdasarkan perhitungan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Proses Terjadinya Petir

Petir merupakan suatu peristiwa alam yang terjadi karena proses pemuatan energi listrik di awan. Petir lebih sering terjadi pada musim hujan, karena pada keadaan tersebut udara mengandung kadar air yang lebih tinggi sehingga daya isolasinya turun dan arus lebih mudah mengalir. Karena ada awan bermuatan negatif dan awan bermuatan positif, maka petir juga bisa terjadi antar awan yang berbeda muatan. dimana salah satu awan bermuatan negatif dan awan lainnya bermuatan positif. Petir terjadi karena ada perbedaan potensial antara awan dan bumi atau dengan awan lainnya.

B. Gangguan Petir pada Saluran

Pada saluran udara, gangguan akibat petir terdiri dari gangguan karena sambaran secara langsung dan sambaran tidak langsung atau disebut juga dengan sambaran induksi.

- Sambaran tidak langsung atau sambaran induksi pada saluran udara tegangan menengah lebih sering terjadi daripada sambaran langsung, hal itu dikarenakan luasnya daerah sambaran induksi. Bila terjadi sambaran petir ke tanah di dekat saluran, akan terjadi fenomena transien yang diakibatkan oleh medan elektromagnetis yang menyebabkan timbulnya tegangan induksi pada saluran. Akibatnya timbul tegangan lebih dan gelombang berjalan yang merambat pada kedua sisi kawat di tempat sambaran berlangsung.

- Sambaran langsung adalah petir yang menyambar langsung pada kawat fasa (untuk saluran tanpa kawat tanah) atau pada kawat tanah (untuk saluran dengan kawat tanah).

C. Gardu Distribusi^[9]

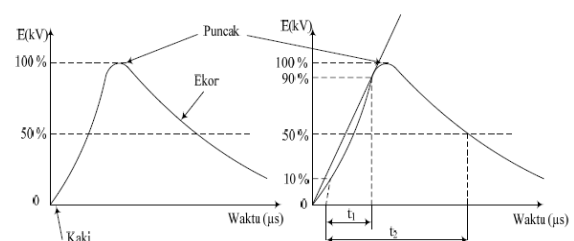
Gardu trafo distribusi berlokasi dekat dengan konsumen. Transformator dipasang pada tiang listrik dan menyatu dengan jaringan listrik. Untuk mengamankan transformator dan sistemnya, gardu dilengkapi dengan unit-unit pengamanan. Karena tegangan yang masih tinggi belum dapat digunakan untuk mencatu beban secara langsung, kecuali pada beban yang didisain khusus, maka digunakan transformator penurun tegangan (*step down*) yang berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah 20kV ke tegangan rendah 400/230Volt. Gardu trafo distribusi ini terdiri dari dua sisi, yaitu : sisi primer dan sisi sekunder. Sisi primer merupakan saluran yang akan mensupply ke bagian sisi sekunder.

D. Arrester

Arrester merupakan suatu alat proteksi peralatan dalam sistem tenaga listrik yang bekerja dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang yang kemudian mengalirkannya ke tanah. Saat normal *arrester* berlaku sebagai isolator dan bila timbul tegangan surja *arrester* berlaku sebagai konduktor. Setelah surja hilang *arrester* harus dengan cepat kembali menjadi isolator sehingga pemutus daya tidak sempat membuka. Pemilihan *arrester* dimaksudkan untuk mendapatkan tingkat isolasi dasar yang sesuai dengan *Basic Impuls Insulation Level* (BIL) peralatan yang dilindungi, sehingga didapatkan perlindungan yang baik. Dalam memilih *arrester* yang paling sesuai untuk suatu keperluan tertentu, harus diperlukan beberapa faktor, antara lain : *Protective Need* (keperluan proteksi), *System Voltage* (keadaan sistem tegangan) dan faktor ekonomi.

E. Gelombang Berjalan^{[9][13]}

Bentuk umum dari gelombang berjalan digambarkan sebagai berikut :



Gambar 1. Spesifikasi Gelombang Berjalan

Sampai saat ini sebab-sebab dari gelombang berjalan yang diketahui adalah :

- Sambaran petir secara langsung pada kawat,
- Sambaran petir tidak langsung pada kawat (induksi),
- Operasi pemutusan (*switching operation*),
- Busur tanah (*arching ground*),
- Gangguan-gangguan pada sistem oleh berbagai kesalahan

F. Persamaan Empiris

1. Perhitungan Resiko Sambaran Petir
a. Kepadatan Sambaran Petir ke Tanah

$$F_G = 123 \cdot 10^{-4} \times (p)^{0,563} \times (IKL)^{0,33} \quad (1)$$

- b. Arus Puncak Petir

$$\hat{I} = 29,5143 \times F_G^{0,33273} \times e^{((-4,1417 \times 10^{-3} \times Li) \times (-2,40752 \times 10^{-4}))} \text{kA} \quad (2)$$

- c. Kecuraman Maksimum Arus Petir

$$\left(\frac{di}{dt}\right) = 1,2358 \cdot \hat{I}^{0,7042} \quad (3)$$

- d. Kecuraman Muka Gelombang Tegangan Petir Tinggi andongan

$$D = \frac{W \times S^2}{8 \times T} \quad (4)$$

Tinggi rata-rata kawat konduktor tanpa kawat tanah di atas tanah

$$h = h_t - \frac{2}{3} \text{ andongan} \quad (5)$$

Perhitungan nilai L

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{2h}{r} \quad (6)$$

Perhitungan nilai C

$$C = \frac{10^{-9}}{18 \ln \frac{2h}{r}} \quad (7)$$

Impedansi Surja Saluran

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (8)$$

Perhitungan kecuraman muka gelombang

$$\frac{du}{dt} = \frac{1}{2} \times Z \times \frac{di}{dt} \quad (9)$$

G. Perhitungan Jumlah Sambaran

1. Lebar bayang-bayang lisrik terhadap sambaran petir

$$W = (b + 4h^{1,09}) \quad (10)$$

2. Luas bayang-bayang untuk 100 km² panjang saluran

$$A = 0,1 \times (b + 4h^{1,09}) \quad (11)$$

3. Sambaran pada saluran sepanjang 100 km

$$N_L = 0,015 \text{ IKL} (b + 4h^{1,09}) \quad (12)$$

H. Sambaran Induksi Pada Saluran

Perhitungan jarak sambaran

$$y = 1,57 h^{0,45} \hat{I}^{0,69} \quad (13)$$

Perhitungan sambaran induksi

$$V_{ind} = \frac{30 \hat{I} h}{y} \quad (14)$$

I. Perhitungan Arrester

Tegangan pengenalan *arrester*
Tegangan pengenalan

$$U_r = U_m \times \alpha \times \beta \quad (15)$$

Tegangan pelepasan/tegangan kerja *arrester*
Arus Pelepasan/ arus kerja *arrester*

$$I_a = \frac{2U_d - U_A}{Z_c} \quad (16)$$

Faktor perlindungan

$$FP = \frac{TID_{trafo} - TP}{TID_{trafo}} \times 100 \% \quad (17)$$

Jarak *arrester* dan transformator

$$S = \frac{U_t - U_A}{2 \frac{du}{dt}} \times v \quad (18)$$

J. Perhitungan Gelombang Berjalan

Impedansi surja saluran

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (19)$$

Resistansi *arrester*

$$R = \frac{U_a}{I_a} \quad (20)$$

Impedansi transformator

Impedansi surja transformator diambil $Z_T = 5000 \Omega$
Perhitungan koefisien terusan dan pantulan

Koefisien terusan dan pantulan antara saluran dan *arrester*

$$\alpha = \frac{R - Z_c}{R + Z_c} \quad (21)$$

$$\beta = \frac{2R}{R + Z_c} \quad (22)$$

Koefisien terusan dan pantulan antara saluran dan transformator

$$\alpha = \frac{Z_c - Z_s}{Z_s + Z_c} \quad (23)$$

$$\beta = \frac{2z_s}{z_s + z_c} \quad (24)$$

Nilai tegangan koefisien refleksi dan refraksi

$$V_p = \rho v_f \quad (25)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Objek yang diteliti adalah analisa proteksi petir pada gardu distribusi 20 KV PT PLN (PERSERO) Rayon Indralaya. Pelaksanaan penelitian dilakukan di PT PLN (Persero) wilayah sumatera selatan, jambi dan Bengkulu Area Palembang, PT PLN (PERSERO) Rayon Indralaya serta di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Stasiun Klimatologi Kelas I Kenten. Waktu Pelaksanaan dimulai pada tanggal 14 April 2014 sampai dengan 5 Mei 2014

B. Metode Pengumpulan Data

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Studi Pustaka

Studi Pustaka adalah pengumpulan data-data didapatkan dari buku-buku yang terdapat dipergustakaan, bahan-bahan kuliah, serta jurnal-jurnal *online*.

2. Studi Konsultasi

Studi konsultasi adalah menanyakan secara langsung kepada dosen pembimbing.

3. Studi Lapangan

Metode studi lapangan yang dilakukan untuk pengumpulan data-data adalah dengan teknik observasi dan teknik wawancara

1. Teknik observasi

Merupakan metode pengumpulan data dengan cara melihat dan mencatat secara langsung data-data dilapangan yang diperlukan.

2. Teknik wawancara

Teknik wawancara adalah dengan menanyakan secara langsung data-data yang diinginkan kepada karyawan bagian teknik PT PLN (PERSERO) Area Palembang, PT PLN (PERSERO) Rayon Indralaya dan BMKG Palembang.

C. Pengolahan Data

Setelah data-data yang diinginkan sudah tersedia, kemudian dilakukan pengolahan data dengan memasukkan data-data tersebut ke dalam persamaan atau rumus yang sesuai dengan referensi yang dipakai.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan pada jurnal ini berdasarkan data karakteristik kelistrikan di saluran distribusi 20 KV Rayon Indralaya.

A. Perhitungan Resiko Sambaran Petir

Perhitungan resiko sambaran petir pada saluran udara tegangan menengah di daerah Indralaya pada koordinat 03° 13' 92,0" LS, dengan ketinggian awan terendah (A) 600 meter, jumlah hari guruh rata-rata (IKL) 142 hari/tahun, dan curah hujan rata-rata (P) adalah 2128,33 mm/tahun. Pada perhitungan resiko sambaran petir terdapat beberapa parameter yang dapat dihitung, meliputi kepadatan sambaran petir ke tanah per km² per tahun (F_G), arus puncak petir (\hat{I}), dan kecuraman arus petir maksimum.

1. Kepadatan Sambaran Petir ke Tanah per km² per tahun (F_G)

$$F_G = 123 \cdot 10^{-4} \times (p)^{0,563} \times (IKL)^{0,33} \text{ sambaran/km}^2\text{tahun}$$

Dimana ; p = 3081,3 mm/tahun dan IKL = 142 hari/tahun

$$F_G = 123 \cdot 10^{-4} \times (2128,33)^{0,563} \times (142)^{0,33}$$

$$F_G = 123 \cdot 10^{-4} \times 74,76285 \times 5,1316$$

$$F_G = 123 \cdot 10^{-4} \times 383,65304$$

$$F_G = 47.189,32392 \times 10^{-4}$$

$$F_G = 4,71893 \text{ sambaran/km}^2\text{tahun}$$

a. Arus Puncak Petir (\hat{I})

$$\hat{I} = 29,5143 \times F_G^{0,332737} \times e^{((-4,14107 \times 10^{-3} \times L_i) \times (-2,40752 \times 10^{-4} \times A))} \text{ kA}$$

dimana ;

$$L_i = 03^\circ 13' 92,0'' \text{ LS} = 3 \text{ jam} + (13 / 60) \text{ jam} = 2,21667$$

jam

Sehingga besar nilai arus petir maksimum untuk koordinat

$$\hat{I} =$$

$$29,5143 \times 4,71893^{0,332737} \times e^{((-4,14107 \times 10^{-3} \times$$

$$\times L_i) \times (-2,40752 \times 10^{-4} \times A))} \text{ kA}$$

$$\hat{I} = 29,5143 \times 1,67576 \times e^{((-4,14107 \times 10^{-3} \times 2,21667) \times (-2,40752 \times 10^{-4} \times 600))}$$

$$\hat{I} = 29,5143 \times 1,67576 \times e^{(1,32597 \times 10^{-3})} \text{ kA}$$

$$\hat{I} = 49,45888 \times 1,00133 \text{ kA}$$

$$\hat{I} = 49,52466 \text{ kA}$$

b. Kecuraman Arus Petir Maksimum

Berdasarkan persamaan (3) didapat :

$$\left(\frac{di}{dt}\right) = 1,2358 \cdot \hat{I}^{0,7042} \text{ kA}/\mu\text{s}$$

$$\left(\frac{di}{dt}\right) = 1,2358 \times 49,52466^{0,7042} \text{ kA}/\mu\text{s}$$

$$\left(\frac{di}{dt}\right) = 19,29485 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

c. Kecuraman Gelombang Datang $\left(\frac{du}{dt}\right)$

Sebelum menghitung nilai Kecuraman Gelombang Datang $\left(\frac{du}{dt}\right)$, terlebih dahulu harus kita ketahui tinggi andongan, tinggi rata-rata kawat konduktor dan nilai impedansi surja sendiri dari penghantar fasa.

Tinggi andongan

Berdasarkan persamaan (4) tinggi andongan didapat:

$$D = \frac{W \times S^2}{8 \times T}$$

$$D = \frac{0,208 \times (45)^2}{8 \times 198}$$

$$D = \frac{421,2}{1584}$$

$$D = 0,266 \text{ meter}$$

Tinggi rata-rata kawat konduktor tanpa kawat tanah di atas tanah persamaan (5)

$$h = h_t - \frac{2}{3} \text{ andongan}$$

$$h = 10 - \frac{2}{3} \times 0,266$$

$$h = 9,823 \text{ meter}$$

Perhitungan nilai L

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{2h}{r}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{2 \times 9,823}{4,7193 \times 10^{-3}}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \times 8,33397$$

$$L = 1,66794 \times 10^{-6} \text{ H/m}$$

Perhitungan Nilai C

$$C = \frac{10^{-9}}{18 \ln \frac{2h}{r}}$$

$$C = \frac{10^{-9}}{18 \ln \frac{2 \times 9,823}{4,7193 \times 10^{-3}}}$$

$$C = 6,66616 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

Impedansi Surja persamaan (8)

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{1,66794 \times 10^{-6}}{6,66616 \times 10^{-12}}}$$

$$Z_c = 500,20997 \Omega$$

Perhitungan Kecuraman Muka Gelombang

Setelah diketahui nilai kecuraman arus petir maksimum ($\frac{di}{dt}$) dan nilai impedansi surja kawat (Z_c) maka nilai

Kecuraman gelombang datang ($\frac{du}{dt}$) dapat dihitung

dengan cara sebagai berikut :

$$\frac{du}{dt} = \frac{1}{2} \times Z \times \frac{di}{dt}$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{1}{2} \times 500,20997 \times 19,29485$$

$$\frac{du}{dt} = 4825,73817 \text{ kV}/\mu\text{s}$$

B. Perhitungan Jumlah Sambaran

- a. Lebar Bayang-Bayang Listrik Terhadap Sambaran Petir

Berdasarkan persamaan (10) didapat:

$$W = (b + 4h^{1,09})$$

$$W = (1,8 + (4 \times 9,823^{1,09}))$$

$$W = (1,8 + 12,06552)$$

$$W = 50,06208 \text{ meter}$$

- b. Luas Bayang-Bayang untuk 100 km² Panjang Saluran

Berdasarkan persamaan (11) didapat:

$$A = 0,1 \times (b + 4h^{1,09})$$

$$A = 0,1 \times (1,8 + (4 \times 9,823^{1,09}))$$

$$A = 0,1 \times (1,8 + (48,26208))$$

$$A = 5,00621 \text{ km}^2 \text{ per } 100 \text{ km saluran}$$

- c. Sambaran pada Saluran Sepanjang 100 km

Berdasarkan persamaan (12) didapat:

$$N_L = N \times A$$

$$N = 0,15 \text{ IKL}$$

Jadi jumlah sambaran pada saluran sepanjang 100 km adalah

$$N_L = N \times A$$

$$N_L = 0,015 \text{ IKL} (b + 4h^{1,09})$$

$$N_L = 0,015 \times 142 (1,8 + (4 \times 9,823^{1,09}))$$

$$N_L = 0,015 \times 142 \times 50,06208$$

$$N_L = 106,63223 \text{ sambaran per } 100 \text{ km per tahun}$$

C. Sambaran Induksi pada Saluran

1. Perhitungan Jarak Sambaran

$$y = 1,57 h^{0,45} i^{0,69}$$

$$y = 1,57 \times 9,823^{0,45} \times 49,52466^{0,69}$$

$$y = 64,83901 \text{ meter}$$

2. Perhitungan Sambaran Induksi

$$V_{ind} = \frac{30 \hat{I} h}{y}$$

$$V_{ind} = \frac{30 \times 49,52466 \times 9,823}{64,83888}$$

$$V_{ind} = 225,08706 \text{ Kv}$$

TABEL 1
NILAI TEGANGAN INDUKSI SALURAN UDARA 20 KV
BERDASARKAN PERUBAHAN NILAI PARAMETER ARUS
PUNCAK DAN JARAK SAMBARAN

Arus (kA)	Jarak sambaran (m)	V _{ind} (kV)
10	21,49857	137,07423
20	34,68328	169,93202
30	45,87997	192,69193
40	55,95397	210,66602
49,52466	64,83901	225,08706
50	65,26778	225,75457
60	74,01741	238,88164
70	82,32413	250,57416
80	90,26962	261,16427
90	97,91221	270,87633
100	105,29543	279,86969

Dari tabel di atas terlihat bahwa pada arus sambaran >20 kA dengan jarak 34,68328 m, melebihi nilai ketahanan impuls isolator.

D. Perhitungan Arrester

1. Tegangan Pengenal Arrester

Nilai Tegangan Pengenal

$$U_r = U_m \times \alpha \times \beta$$

$$U_r = 20 \times 1 \times 1,1$$

$$U_r = 22 \text{ kV}$$

2. Tegangan Pelepasan/ Tegangan Kerja *Arrester* (U_A)

$$U_A = 58,6 \text{ kV}$$

Dengan pemilihan arus pelepasan *arrester* 5 kA

3. Arus pelepasan/ Arus Kerja *Arrester* (I_a)

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

$$U_d = 1,2 \times 150$$

$$U_d = 180 \text{ kV}$$

Jadi nilai arus kerja *arrester* adalah

$$I_a = \frac{2U_d - U_A}{Z_c}$$

$$I_a = \frac{(2 \times 180) - 58,6}{500,20997}$$

$$I_a = \frac{360 - 58,6}{500,20997}$$

$$I_a = 0,60256 \text{ kA}$$

Kelas arus dilapangan yang dipilih adalah 5 kA

4. Faktor Perlindungan (*Protection Margin*)

$$\text{Tingkat perlindungan } arrester = U_A + 10\% \text{ (panjangkawat + toleransi pabrik)}$$

$$= 58,6 \times 1,1$$

$$= 64,46 \text{ kV}$$

Tingkat Isolasi Dasar (TID) berdasarkan peralatan yang dilindungi yaitu transformator. Besarnya nilai TID untuk transformator adalah 125 kV

Maka, Berdasarkan persamaan (17) didapat:

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

$$FP = \frac{125 - 64,46}{125} \times 100 \%$$

$$FP = \frac{60,54}{125} \times 100 \%$$

$$FP = 48,43 \%$$

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan tingkat perlindungan untuk trafo daya yaitu sebesar 48,43 %. Kriteria yang berlaku untuk MP > 20% dianggap cukup untuk melindungi transformator.

TABEL 2
HASIL PERHITUNGAN *ARRESTER* PADA GARDU DISTRIBUSI 20 KV RAYON INDERALAYA

Arrester SUTM	Tegangan sistem kV	Tegangan pengenal (U_r) kV	Tegangan kerja (U_A) kV	Arus pelepasan (I_a) kA	Faktor perlindungan %
Rayon Indralaya	20	22	58,6	0,60256	48,43

5. Jarak *Arrester* dan Transformator

Jarak *arrester* dan transformator yang dihubungkan dengan saluran udara

Dimana, U_t = nilai tegangan diambil dari TID transformator yaitu 125 kV.

$$U_A = \text{tegangan kerja arester yaitu } 58,6 \text{ kV}$$

$$\frac{du}{dt} = 4825,73817 \text{ kV}/\mu\text{s}$$

v = kecepatan rambat gelombang (di udara :300 m/ μ s)

Maka, berdasarkan persamaan (18) didapat jarak efektif dari *arrester* dan transformator adalah

$$S = \frac{U_t - U_A}{2 \frac{du}{dt}} \times v$$

$$S = \frac{125 - 58,6}{2 \times 4825,73817} \times 300$$

$$S = \frac{66,4}{9651,47634} \times 300$$

$$S = \frac{19920}{9651,47634}$$

$$S = 2,06393 \text{ m}$$

TABEL 3
HASIL PERHITUNGAN JARAK *ARRESTER* BERDASARKAN NILAI PARAMETER PETIR YANG TELAH DIHITUNG

Arus puncak petir, (kA)	Kecuraman Arus (kA/ μ detik)	Kecuraman Tegangan (kV/ μ detik)	Jarak <i>Arrester</i> (m)
10	6,25386	1564,12156	6,36779
20	10,18904	2548,32969	3,90844
30	13,55617	3390,46569	2,93765
40	16,60041	4151,84529	2,39893
49,52466	19,29485	4825,73817	2,06393
50	19,42508	4858,30934	2,05009
60	22,08626	5523,88373	1,80308
70	24,61876	6157,27460	1,61759
80	27,04607	6764,35693	1,47242
90	29,385	7349,33498	1,35522
100	31,64814	7915,35758	1,25831

TABEL 4
TABEL PERBANDINGAN

<i>Arrester</i>	Berdasarkan perhitungan	Data dilapangan
Arus Pelepasan Nominal	5 kA	10 kA
Jarak Lindung <i>Arrester</i>	2,06393 m	1,5 m

E. Perhitungan Gelombang Berjalan

1. Impedansi Surja Saluran

Besarnya impedansi surja saluran adalah sebesar 500,20997 Ω

2. Resistansi *Arrester*

$$\text{Tegangan } discharge = 58,6 \text{ kV}$$

$$\text{Arus } discharge = 5 \text{ kA}$$

besarnya nilai resistansi *arrester* adalah:

$$R = \frac{U_a}{I_a}$$

$$= \frac{58,6}{5}$$

$$= 11,72 \Omega$$

3. Impedansi Transformator

Impedansi surja transformator $Z_T = 5000 \Omega$

4. Perhitungan Koefisien Terusan dan Pantulan
Koefisien terusan dan pantulan antara saluran dan *arrester*

Berdasarkan persamaan (21) dan (22) didapat:

$$\alpha = \frac{R - Z_C}{R + Z_C} = \frac{11,72 - 500,20997}{11,72 + 500,20997} = -0,95421 \Omega$$

$$\beta = \frac{2R}{R + Z_C} = \frac{23,44}{11,72 + 500,20997} = 0,04579 \Omega$$

Koefisien terusan dan pantulan antara saluran dan transformator

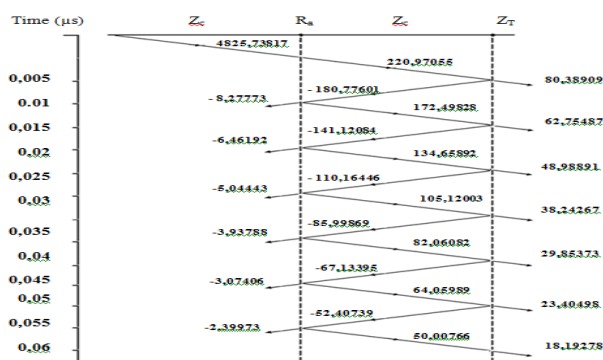
Berdasarkan persamaan (23) dan (24) didapat:

$$\alpha' = \frac{Z_C - Z_S}{Z_S + Z_C} = \frac{500,20997 - 5000}{500,20997 + 5000} = -0,8181 \Omega$$

$$\beta' = \frac{2Z_S}{Z_S + Z_C} = \frac{2 \times 500,20997}{500,20997 + 5000} = 0,1819 \Omega$$

Lamanya Perjalanan gelombang surja dari titik yang satu ke titik yang selanjutnya dapat dihitung. Dengan kecepatan rambat gelombang $v = 3 \cdot 10^8$ m/s maka perjalanan gelombang surja dari *arrester* ke transformator yang berjarak $S = 0,5$ m membutuhkan waktu :

$$t = \frac{S}{v} = \frac{0,5}{3 \times 10^8} = 1,5 \times 10^{-9} \text{ s} = 1,5 \text{ ns} = 0,005 \mu\text{s}$$



Gambar 2. Diagram Tangga

F. Analisa Hasil Perhitungan

Dari perhitungan parameter petir yang ada dengan jumlah hari guruh 142, dan data-data konstruksi saluran udara, maka didapat lebar bayang-bayang sebesar 50,06208 meter dan luas bayang-bayang 5,006208 km² per 100 km saluran. Setelah dilakukan perhitungan dari data IKL dan luas bayang-bayang didapat data jumlah sambaran ke saluran sebanyak 106,63223 sambaran per 100 km per tahun. Didapat pula besarnya tegangan yang

dirasakan kawat fasa akibat dari sambaran induksi kesaluran sebesar 225,08706 kV.

Dari hasil perhitungan berdasarkan data yang didapat, jarak ideal antara arrester dan transformator adalah 2,06573 m, sedangkan jarak yang terpasang di gardu distribusi adalah 1,5 m. Kondisi ini bisa dikatakan aman, karena semakin dekat jarak *arrester* ke transformator, maka akan semakin baik. Selain itu dapat dilihat juga, pada saat diaplikasikan dalam diagram tangga, besarnya tegangan yang dirasakan transformator dibawah nilai BIL transformator pada pantulan pertama selama 0,005 µs yaitu sebesar 80,38909 kV. Semakin dekat jarak arrester ke transformator, maka semakin sedikit waktu yang dibutuhkan untuk arrester memotong gelombang pantulan yang datang dari transformator. Akibatnya, gelombang berjalan yang terjadi akan semakin cepat diatasi.

V. KESIMPULAN

1. Besarnya tegangan yang dirasakan kawat fasa akibat dari sambaran induksi kesaluran sebesar 225,08706 kV.
2. Berdasarkan data lapangan yang diambil, jarak *arrester* ke transformator yang dipasang sudah ideal untuk menanggulangi sambaran petir akibat sambaran induksi di saluran.
3. Saat diaplikasikan dalam diagram tangga, besarnya tegangan yang dirasakan transformator dibawah nilai BIL transformator pada pantulan pertama selama 0,005 µs.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Hileman, Andrew R. 1999. "Insulation Coordination for Power Systems" New York : Marcel Dekker, inc.

[2] Sibatuara, Henra. 2011. *Analisa Kinerja Petir Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 KV PT PLN (PERSERO) Wilayah Sumatera Selatan*. Universitas Sriwijaya : Indralaya:

[3] Lori M. Parera dan Ari Permana. 2009. Analisis Perlindungan Transformator Distribusi yang Efektif Terhadap Surja Petir. *Jurnal TEKNOLOGI, Volume 6 Nomor 2, 2009; 671 – 678*. Jurusan Elektro. Politeknik Negeri Ambon.

[4] Hutaaruk, T.S., Perhitungan gangguan kilat pada saluran udara tegangan menengah, *Proceedings ITB, Vol. 2, No. 1, 1988*.

[5] Arfita Y. D. R., dan Fauzan. 2012. Perencanaan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 KV pada Komplek Perkebunan AMP Bawan Lubuk Basung. *Jurnal Teknik Elektro ITP. Volume 1 No. 2 Januari 2012 Fakultas Teknologi Industri*

[6] Sofham, A. M. 2005. *Penentuan Jarak Lindung Arrester pada Gardu Induk*. Universitas Sriwijaya : Indralaya.

[7] Cooray, Vernon. 2010. *Lightning Protection*. London: The Institution of Engineering and Technology.

[8] Paraisu, M. S., Lisi, F., Patras, L.S., dan Silimang, S. 2013. Analisa Rating Lightning Arrester pada Jaringan Transmisi 70 kV Tomohon-Teling. *e-Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*. Teknik Elektro-FT. Universitas Sam Ratulangi Manado

[9] Hans, Tua M. Sinaga. 2011. *Studi Analisis Gangguan Gardu Trafo Distribusi pada Saluran Distribusi 20 kV di PT. PLN Cabang Medan*. Universitas Sumatera Utara: Medan

[10] Arismunandar, A. 1978. *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta: Pradnya Paramita.

[11] Arismunandar, A dan Kuwahara, S. 1997. *Teknik Tenaga Listrik III*. Jakarta: Pradnya Paramita.

[12] Yusreni Warmi, Minarni, dan Dasman. 2013. Perencanaan Penempatan Arrester terhadap Efektivitas

Proteksi Transformator pada Gardu Induk 150 kV Sistem Interkoneksi Sumatera Bagian Tengah - Sumatera Bagian Selatan. *Jurnal Momentum Vol.15 No.2. Agustus 2013*

- [13] Sagala, Romulo. S. 2006. *Analisa Sistem Perlindungan Gardu Induk Simpang Tiga Terhadap Gangguan Sambaran Petir di Saluran Transmisi dan Sambaran Langsung pada Gardu Induk*. Universitas Sriwijaya : Indralaya.