

SISTEM PROTEKSI PETIR DI GARDU INDUK SEDUDUK PUTIH SISTEM 150 KV PT. PLN (PERSERO) PALEMBANG

DAENY SEPTI YANSURI

*Dosen Tetap Yayasan pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Palembang
e-mail : sdaeny@yahoo.com*

ABSTRAK

Sebagai daerah yang beriklim tropis, Indonesia mempunyai hari guruh yang tinggi setiap tahunnya. Hari guruh menentukan banyaknya jumlah sambaran petir per tahun pada suatu daerah. Saluran transmisi udara tegangan tinggi menggunakan menara transmisi yang tinggi, sehingga kemungkinan terjadinya sambaran petir sangat besar terutama sambaran petir langsung ke kawat fasa yang dapat mengganggu sistem kelistrikan yang ada. Sambaran petir yang merambat dari kawat fasa ini menyebabkan terjadinya gelombang berjalan yang merambat ke Gardu Induk. Metode yang digunakan dalam menganalisa hasil perhitungan adalah metode pantulan yang dapat digunakan untuk menentukan jarak maksimum arrester dan peralatan, dan juga untuk menentukan panjang maksimum kabel penghubung peralatan dengan saluran transmisi. Dari hasil perhitungan, proteksi petir pada Gardu Induk seduduk putih Sistem 150 kV PT. PLN (Persero) Palembang sudah cukup baik hingga arus puncak petir sebesar 20 kA. Untuk arus puncak petir 10 kA surja yang sampai ke transformator adalah 282,80 kV/ μ s, untuk arus puncak petir 20 kA surja yang sampai ke transformator adalah 441,02 kV/ μ s. Sedangkan untuk arus puncak petir yang lebih dari 20 kA surja yang sampai ke transformator sudah melebihi BIL transformator. Untuk jarak arrester pertama ke transformator adalah 47,68 meter dan untuk jarak arrester kedua ke transformator adalah 6,43 meter.

Kata Kunci : *Sambaran Petir, Lightning Arrester, Shielding Failure*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saluran transmisi udara tegangan tinggi menggunakan menara transmisi yang tinggi, sehingga kemungkinan terjadinya sambaran petir sangat besar terutama sambaran petir langsung ke kawat fasa yang dapat mengganggu sistem kelistrikan yang ada. Sambaran petir yang merambat dari kawat fasa ini menyebabkan terjadinya gelombang berjalan yang merambat ke Gardu Induk. Surja petir ini dapat membahayakan peralatan listrik yang ada di dalam Gardu Induk yaitu transformator. Untuk melindungi Gardu Induk dari surja petir ini dapat dilakukan dengan menggunakan alat proteksi tegangan lebih seperti Lightning Arrester. Penempatan lokasi dari arrester ini akan menentukan baik aman atau tidaknya suatu Gardu Induk.

Arrester akan bekerja bila merasakan surja petir dan akan bersifat sebagai isolasi kembali setelah tegangan lebih yang terjadi lebih rendah daripada tegangan pelepasan arrester. Untuk menentukan lokasi penempatan Lightning Arrester tersebut, dapat dilakukan dengan berbagai metode bahkan dengan menggunakan perhitungan dengan program. Tetapi, pada penelitian di Gardu Induk Seduduk Putih, perhitungan dilakukan dengan metode konvensional dengan berdasarkan konsep yang mapan terhadap tegangan lebih yang diakibatkan oleh surja petir.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa besar tegangan lebih yang masuk ke Gardu Induk dan menentukan jarak aman antara arrester dengan transformator. Sehingga surja petir yang masuk dapat diredam sebelum mencapai transformator.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah dengan mengetahui perhitungan yang dilakukan maka pemasangan arrester dan jumlah arrester yang akan di pasang dapat diketahui dan dipasang.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara observasi lapangan, sehingga data dapat diperoleh secara wawancara atau studi pustaka yang ada di lapangan yaitu di Gardu Induk Seduduk Putih, dan hanya berkisar seputar data transformator yang ada di Gardu Induk.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tegangan Lebih Petir

Tegangan lebih adalah tegangan yang hanya dapat ditahan untuk waktu terbatas. Secara umum menurut jenisnya dapat dibagi sebagai berikut :

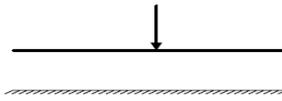
1. Berdasarkan sebabnya :
 - a. Sebab dalam (*Internal Overvoltage*), contoh : tegangan lebih switching
 - b. Sebab luar (*External Overvoltage*), contoh : tegangan lebih petir
1. Berdasarkan bentuknya :
 - a. Periodik, contohnya tegangan lebih temporer
 - b. Aperiodik, contohnya tegangan lebih petir
2. Berdasarkan sumbernya :
 - a. Petir
 - Sambaran langsung pada kawat fasa
 - Sambaran tidak langsung atau induksi pada kawat fasa
 - b. Switching
Contoh :
 - Pemutusan arus hubung singkat
 - Pemutusan arus pada penghantar terbuka
 - Pemisahan dari transformator beban nol
 - Penyambungan atau pemutusan beban
 - c. Temporer, contohnya gangguan kawat fasa ke tanah

Adapun mekanismenya terjadi sambaran petir ke bumi terdiri dari tahapan-tahapan sebagai berikut :

- a. Initial Leader (Lidah Mula)
- b. Return Stroke
- c. Multiple Stroke (Sambaran Berulang)

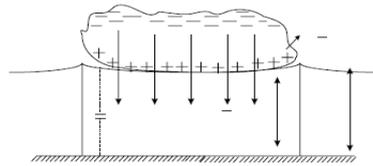
2.2. Tegangan Lebih Akibat Sambaran Petir

- A. Sambaran Langsung (direct Strike) pada kawat penghantar)



Gambar : Sambaran Langsung pada Penghantar [5, 6]

B. Sambaran Tidak Langsung atau Sambaran Induksi



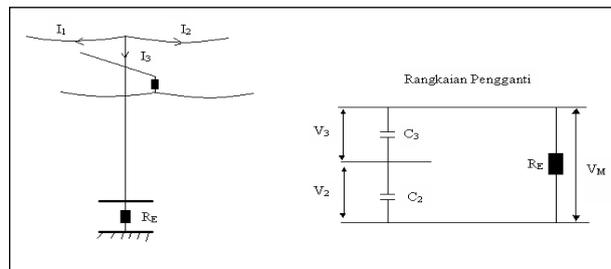
Gambar : Sambaran Tidak Langsung [5, 6]

2.3. Parameter Petir [6]

- A. Kepadatan Sambaran Petir Ke Tanah/km²tahun (F_g)
- B. Arus Puncak Petir (\hat{I})
- C. Kecuraman Petir Maksimum $(di/dt)_{maks}$
- D. Muatan Petir (Q)

2.4. Sistem Proteksi Terhadap Tegangan Lebih Petir

- A. Perlindungan Hantaran Udara Terhadap Sambaran Langsung
- B. Perlindungan Gardu Induk Terhadap Sambaran Petir Langsung



Gambar : Sambaran pada Menara dengan Kawat Tanah [1, 2, 3]

2.5. Koordinasi Isolasi [1, 2, 3]

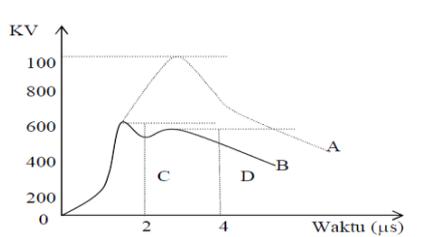
A. Koordinasi Isolasi Pada Gardu Induk

B. Lightning Arrester

- Karakteristik Lightning Arrester

Agar bekerja secara optimal, arrester harus memenuhi karakteristik sebagai berikut :

1. Arrester mempunyai tegangan dasar (*rated*) 50 c/s yang tidak boleh dilampaui.
2. Arrester mempunyai karakteristik yang dibatasi oleh tegangan (*voltage limiting*) bila dilalui oleh berbagai macam arus petir atau surja hubung.
3. Arrester mempunyai batas termis.



Gambar : Pengaruh arrester terhadap surja^[1, 2, 3]

Keterangan gambar :

- A = gelombang surja di gardu induk tanpa arrester
- B = gelombang surja di gardu induk dengan arrester
- C = tegangan percikan pada muka
- D = tegangan pelepasan (sisa)

- Tipe dan Cara Kerja Arrester
 1. Tipe Ekspulsi (*expulsion*)
 2. Tipe MOV (*Metal Oxide Arrester*)
- Pemasangan Lightning Arrester
- Pemilihan Rating Arrester
 1. Tegangan Nominal atau Tegangan Pengenal
 2. Arus Pelepasan Nominal
 3. Tegangan Percikan Frekuensi Jala-Jala
 4. Tegangan Sisa

C. Karakteristik Lokasi Arrester Dengan Tingkat Isolasi Peralatan Yang Dilindungi

1. Protective Margin : $PM = BIL / (0,25 + 1)$
2. Jarak Arrester Terhadap Peralatan yang Dilindungi :

$$x_o = \frac{V_T - V_a}{2x(r)x(e)} x(v)$$

D. Pemilihan Jumlah Isolator

Untuk tegangan yang harus ditahan oleh isolator digunakan perumusan, yaitu :

$$V_m = 12/11 \times V$$

$$E = \frac{V_m}{\sqrt{3}} x(n)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Gardu Induk Seduduk Putih yang beralamat di Jl. Abikusno Cokrosuyoso No.24 Palembang Sumatera Selatan. Dan pelaksanaan pengambilan data untuk penelitian dilakukan pada saat hari dan jam kerja yang berlaku di Gardu Induk Seduduk Putih.

3.2. Metode Analisa

Metode yang digunakan dalam menganalisa hasil perhitungan adalah metode pantulan. Metode pantulan adalah metoda pendekatan yang dapat digunakan untuk menentukan jarak

maksimum arrester dan peralatan, dan juga untuk menentukan panjang maksimum kabel penghubung peralatan dengan saluran transmisi.

3.3. Pengolahan Data

Data yang telah diperoleh disusun kemudian dilakukan perhitungan-perhitungan untuk mendapatkan hasil yang kemudian dianalisa. Pengolahan data yang dilakukan meliputi: [7, 8, 9, 10]

1. Perhitungan parameter-parameter petir yang ada di daerah Seduduk Putih untuk mengetahui resiko sambaran petir pada saluran transmisi gardu induk Seduduk Putih .
2. Perhitungan gelombang berjalan pada saluran transmisi, saluran penghubung, saluran busbar dengan persamaan :

$$e_t = e_f \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$e_r = e_t \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

Tegangan yang sampai ke transformator : $e_t = 2 \times e_f$

3. Perhitungan impedansi surja saluran transmisi dengan persamaan :

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

4. Perhitungan tegangan gangguan pada saluran transmisi dengan persamaan :

$$\left\{ \frac{dv}{dt} \right\} = \left\{ \frac{di}{dt} \right\}_{maks} \times Z_{Tr}$$

$$\text{Dimana : } \left\{ \frac{di}{dt} \right\}_{maks} = 1,2358 \times \hat{I}^{0,7042} \quad \text{kA} / \mu\text{s}$$

5. Perhitungan Protective Margin dengan rumus :

$$\text{BIL} = (\text{Safety Margin} + 1) \times \text{PM}$$

$$\text{PM} = \text{BIL} / (\text{Safety Margin} + 1)$$

Dimana : Safety Margin yang diambil adalah 25 %

$$\text{Sehingga : } \text{PM} = \text{BIL} / (0,25 + 1)$$

6. Perhitungan arus pelepasan pada arrester dengan menggunakan rumus :

$$I = \frac{2e - V_o}{Z_2 + Z_A} \quad \text{kA}$$

Dimana :

e = Tegangan gelombang datang

V_o = Tegangan yang ditahan oleh arrester

Z_2 = Impedansi karakteristik saluran penghubung

Z_A = Impedansi karakteristik arrester

7. Perhitungan jarak lindung arrester terhadap transformator dengan rumus :

$$x_o = \frac{V_T - V_a}{2x(r)x(e)} \times (v)$$

Dimana :

V_T = tegangan terminal dari peralatan yang dilindungi (kV)

V_a = tegangan pelepasan dari arrester (kV)

v = kecepatan surja gelombang, dimana 300 m/μs (di udara)

x_o = jarak arrester dengan peralatan (m)

e = kecuraman muka gelombang dari gelombang yang datang (kV/ μs)

r = faktor refleksi

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Resiko Sambaran Petir Pada Saluran Transmisi Gardu Induk Seduduk Putih ^[6]

- a) Kepadatan sambaran petir ke tanah/km² tahun (F_g)

$$F_g = 123 \times 10^{-4} \times P^{0,563} \times (IKL)^{0,33} \quad \frac{\text{sambaran}}{\text{km}^2 \text{ tahun}}$$

$$F_g = 4,432985227 \quad \text{sambaran/ km}^2 \text{ tahun}$$

- b) Arus puncak petir (\bar{I})

$$\hat{I} = 29,5143 \times F_g^{0,332737} \times e^{\{(-4,14170 \times 10^{-3} \times L_i) \times (-2,40752 \times 10^{-4} \times A)\}} \text{ kA}$$

$$\hat{I} = 48,46225932 \text{ kA}$$

- c) Kecuraman Petir Maksimum ($\frac{di}{dt}$)_{maks}

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{\text{maks}} = 19,00244334 \text{ kA} / \mu\text{s}$$

- d) Muatan Listrik Maksimum (Q)

$$Q = 8,994920506 \quad \text{coloumb}$$

4.2. Hasil Perhitungan Kopling Antara Kawat Tanah dengan Kawat Fasa

No.	Kawat Fasa	Faktor Kopling (K)
1.	R	0,4242
2.	S	0,3041
3.	T	0,2202

4.3. Perhitungan Jumlah Gangguan Akibat dari Kegagalan Perisaian

	X_S	S_{\min}	S_{\max}	I_{\min}	I_{\max}	P_{\min}	P_{\max}	N_{SF}
R	-0,94	32,04	32,03	10	8,47	0,95	0,97	0,25
S	-3,10	32,04	26,56	10	6,35	0,95	0,98	1,65
T	-5,62	32,04	23,28	10	5,18	0,95	0,99	3,55

4.4. Perhitungan Tegangan Gangguan pada Saluran Transmisi

No.	Arus puncak petir (\bar{I}) kA	Kecuraman arus petir (di/dt) kA / μs	di/dt x Z_{tr} kV / μs
1.	10	6,25	2267,81

2.	20	10,19	3694,89
3.	30	13,56	4915,83
4.	40	16,60	6019,75
5.	48,46	19,00	6890,79

4.5. Hasil Perhitungan untuk semua arus puncak petir

No.	\hat{I} (kA)	dv/dt saluran (kV/ μ s)	dv/dt (kV/ μ s)		
			A1	A2	M _{TR}
1.	10	2267,81	177,35	141,40	282,80
2.	20	3694,82	287,63	220,51	441,02
3.	30	4915,83	381,99	288,20	576,40
4.	40	6019,75	467,31	349,40	698,79
5.	48,46	6890,79	534,62	397,69	795,37

A. Koordinasi Jarak Arrester dengan Transformator^[4, 5]

- Untuk jarak antara arrester A1 ke transformator adalah :

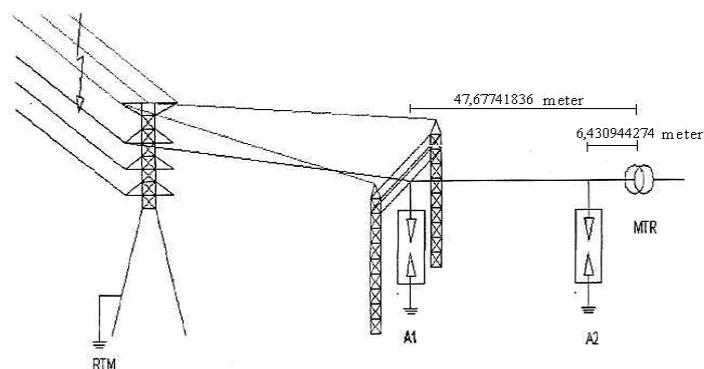
$$x_o = \frac{520 - 346}{2 \times (0,079443573) \times (6890,789885)} \times (300)$$

$$= \frac{174}{1094,857939} \times (300) = 47,67741836 \text{ meter}$$

- Untuk jarak antara arrester A2 ke transformator adalah :

$$x_o = \frac{520 - 144}{2 \times (1,272727272) \times (6890,789885)} \times (300)$$

$$= \frac{376}{17540,19242} \times (300) = 6,430944274 \text{ meter}$$



Gambar : Jarak Antara Arrester Terhadap Transformator^[1, 2, 3]

B. Pemilihan Jumlah Isolator

Untuk tegangan yang harus ditahan oleh isolator digunakan perumusan, yaitu :

$$V_m = 12/11 \times V$$

$$= 12/11 \times 150$$

$$= 163,6363 \text{ kV}$$

$$E = \frac{163,6363}{\sqrt{3}} \times (1,2) = 113,3705 \text{ kV}$$

Dengan mengasumsikan kontaminasi yang dapat terjadi maka dipakai rumus untuk menghitung tegangan ketahanan dari tiap keping isolator, yaitu :

$$V = \frac{28}{(W/0,1)^{1/5} (1,5 (K^{1/3} + 2) + 5/8K)} \times (k)$$

$$= \frac{28}{(0,03/0,1)^{1/5} (1,5 (0,1^{1/3} + 2) + (5/8 \times 0,1))} \times (1,1) = 10,413 \text{ kV/piringan}$$

Sehingga jumlah piringan dari hasil teoritis adalah :

$$\Rightarrow \frac{113,3705}{10,413} = 10,8874 \text{ piringan} \approx 11 \text{ piringan}$$

4.6. Analisa Hasil Perhitungan

Dari tabel didapatkan informasi bahwa proteksi petir pada Gardu Induk Seduduk Putih Sistem 150 kV Palembang sudah baik untuk arus puncak petir ($\bar{I} \leq 20 \text{ kA}$). Besar tegangan gangguan petir $\left\{ \frac{dv}{dt} \right\}$ untuk $(\bar{I}) = 20 \text{ kA}$ adalah sebesar 3694,818207 kV/ μs atau 3694,82 kV/ μs . Sedangkan tegangan gangguan petir yang sampai ke transformator adalah sebesar 441,0191674 kV/ μs atau 441,02 kV/ μs . Tegangan ini berada pada margin yang aman untuk transformator yaitu 520 kV. Namun untuk $(\bar{I}) = 30$, $(\bar{I}) = 40$, dan $(\bar{I}) = 48,4631$ menurut perhitungan, tegangan gangguan petir yang sampai ke transformator berada di atas margin aman transformator tersebut.

Menurut perhitungan, lebar daerah yang tak terlindungi untuk seluruh kawat fasa sudah baik yaitu sebesar $R = -0,9430$ meter untuk fasa S = -3,1058 meter dan untuk fasa T = -5,6189. Untuk jarak perlindungan arrester terhadap transformator secara matematis adalah 47,67741836 meter atau 47,68 meter. Jarak ini sudah mendekati jarak yang ada di lapangan yaitu 51 meter. Sedangkan untuk jarak arrester kedua terhadap transformator adalah 6,430944274 meter atau 6,43 meter.

Untuk mengetahui tegangan lebih petir yang terjadi pada jarak 51 meter, dapat dilakukan dengan mengasumsikan kecuraman gelombang tegangan yang datang yang sampai ke transformator adalah berdasarkan arus puncak petir tertinggi $(\bar{I}) = 48,46225932 \text{ kA}$ atau 48,46 kA

$$\text{yaitu } \left\{ \frac{dv}{dt} \right\} = 6890,789885 \frac{\text{kV}}{\mu\text{s}} \text{ atau } \left\{ \frac{dv}{dt} \right\} = 6890,80 \frac{\text{kV}}{\mu\text{s}}$$

$$x_0 = \frac{V_{MTr} - V_a}{2 x (r) x (e)} \times (v)$$

$$V_{MTr} = \frac{(x_0) x (2) x (r) x (e)}{v} + V_a$$

$$V_{MTr} = \frac{(51) x (2) x (1,272727272) x (6890,789885)}{(300)} + 346$$

$$V_{MTr} = 3327,832712 = 3327,83 \text{ kV}$$

Jelas sekali bahwa tegangan ini melebihi BIL transformator.

5. PENUTUP

1. Proteksi Gardu Induk Seduduk Putih Sistem 150 kV PT. PLN (Persero) Palembang terhadap tegangan lebih petir yang datang dari saluran secara matematis sudah cukup baik untuk $(\hat{I}) \leq 20$ kA. Hal ini dapat dilihat, untuk arus puncak petir $(\hat{I}) = 20$ kA, besarnya tegangan lebih yang sampai ke transformator adalah 441,0191674 kV/ μ s. Tentu saja nilai ini masih berada dalam margin aman transformator yaitu 520 kV. Sedangkan untuk $(\hat{I}) > 20$ kA, besarnya tegangan lebih yang sampai ke transformator melebihi margin aman dari transformator.
2. Secara perhitungan, jarak lindung arrester terhadap transformator adalah 47,67741836 meter. Jarak ini sudah mendekati besarnya jarak lindung arrester di lapangan, yaitu 51 meter. Sedangkan jarak arrester kedua terhadap transformator adalah 6,430944274 meter.
3. Menurut perhitungan, lebar daerah yang tak terlindungi untuk seluruh kawat fasa sudah baik yaitu sebesar -0,9430 meter untuk fasa R, -3,1058 meter untuk fasa S, dan -5,6189 untuk fasa T.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arismunandar, Artono, 2001, *Teknik Tegangan Tinggi*, Penerbit PT.Pradnya Paramita, Jakarta.
- [2] Artono Arismunandar dan Susumu Kuwahara, 1993, *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik II*, Penerbit PT.Pradnya Paramita, Jakarta.
- [3] Artono Arismunandar dan Susumu Kuwahara, 1993, *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik III : Gardu Induk*, Penerbit PT.Pradnya Paramita, Jakarta.
- [4] Syamsir Abdul dan Angga Septian. 2009. *Analisis Gangguan Petir Akibat Sambaran Langsung Pada Saluran Transmisi Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV*. Universitas Trisakti. Jakarta.
- [5] *Analisis Pemetaan Sambaran Petir Akibat Bangunan BTS Terhadap Lingkungan dan Sekitarnya di Kota Medan*. Skripsi. Universitas Sumatera Utara, <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/17356/3/Chapter%20II.pdf>
- [6] Hutaeruk, T.S, M.E.E., Ir., 1991, *Gelombang Berjalan Dan Proteksi Surja*, Penerbit Erlangga.
- [7] Kholis, Nur. 2006. *Unjuk Kerja Arrester Type HLMN 136 Untuk Pengamanan Reaktor 7R1 Pada Gardu Induk 500 KV di UPT Semarang*. Skripsi. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- [8] Parhusip,Ropendi. 2010. *Analisa Sistem Proteksi Petir Pada Gardu Induk Sistem 275 KV PT. INALIUM KUALA TANJUNG*. Skripsi. UNSRI.
- [9] Rosyadi, Almon. 2009. *Evaluasi Sistem Proteksi Petir Eksternal Pada Gedung Universitas Sriwijaya*. Skripsi, UNSRI.
- [10] Sagala, S. Romulo. 2006. *Analisa Sistem Perlindungan Gardu Induk Simpang Tiga Terhadap Gangguan Sambaran Petir di Saluran Transmisi dan Sambaran Langsung Pada Gardu Induk*. Skripsi. UNSRI.