

Analisis Keandalan *Lightning Arrester* pada Gardu Portal di Jaringan Distribusi

PT.PLN (Persero) Rayon Sukorejo Pasuruan

Kunto Joyondanu¹, Bambang Dwi Sulo ST.,MT.², Bambang Minto ST.,MT³

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang, Jl. MT. Haryono 193 Malang

kunto.joyo14@gmail.com

ABSTRAK

Gangguan petir merupakan salah satu penyebab terjadinya gangguan pada suatu sistem tenaga listrik jika tegangan petir melebihi transformator distribusi serta komponen sistem tenaga listrik yang dipakai. Surja petir merupakan faktor yang lebih dominan dalam menimbulkan tegangan lebih pada jaringan Distribusi tenaga listrik. Surja petir terjadi akibat adanya sambaran petir yang mengenai sebuah sistem tenaga listrik baik secara langsung maupun secara induksi. Penelitian ini mempelajari gangguan petir pada jaringan distribusi 20 kV akibat terjadi sambaran petir di jaringan distribusi PT.PLN (Persero) Rayon Sukorejo Pasuruan. Untuk mempermudah dalam proses analisis, digunakan metode perhitungan pada rating *Lightning Arrester* untuk mensimulasikan proses terjadinya sambaran petir pada jaringan distribusi tersebut. Sebagai bahan kajian pada penelitian ini diambil data dari gardu portal pada jaringan distribusi 20 kV di penyulang Polaman, Tutur, Lemah bang, Glagah sari, Simping, Martopuro, Purwodadi dari Gardu Induk Sukorejo. Hasil dari perhitungan tersebut menunjukkan bahwa *Lightning Arrester* dengan tegangan pengenalan 24 kV lebih handal dari pada tegangan pengenalan 21 kV dan 18 kV. Besarnya gangguan petir yang terjadi pada jaringan distribusi tersebut dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam menentukan proteksi peralatan.

Kata Kunci : Gangguan Petir, Gardu Portal, Andal, *Lightning Arrester*, Kawat.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gangguan petir dapat berdampak buruk pada sistem proteksi tenaga listrik. Adapun akibat yang ditimbulkan oleh gangguan petir, yaitu Sistem energi yang ditimbulkan oleh gangguan petir dapat melewati batas kemampuan *Lightning Arrester* tenaga listrik, kerusakan yang dapat ditimbulkan adalah berupa pelelehan dan keretakan pada komponen (Suhadi, dkk, 2008).

Jaringan distribusi PT.PLN (Persero) Rayon Sukorejo Pasuruan merupakan area yang seringkali mengalami gangguan petir khususnya pada bagian gardu portal di jaringan distribusinya. adanya gangguan tersebut mengakibatkan kerusakan pada sistem proteksi jaringan distribusi. Dengan permasalahan yang demikian maka perlu dilakukan analisis sistem proteksi pada jaringan distribusi PT.PLN (Persero) Rayon Sukorejo Pasuruan terhadap kelayakan *Lightning Arresternya*. Oleh karenanya pada kesempatan ini penulis membuat penelitian berjudul “Analisis Keandalan *Lightning Arrester* pada Gardu portal di Jaringan Distribusi PT.PLN (Persero) Rayon Sukorejo Pasuruan”.

1.1 Rumusan Masalah

Sehubung dengan Latar Belakang diatas maka dalam penulisan Tugas Akhir ini permasalahan yang akan dibahas adalah:

Bagaimana keandalan pengaman *Lightning Arrester*.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pembahasan Tugas Akhir ini adalah menganalisis keandalan penggunaan *Lightning Arrester* pada sistem proteksi Gardu Portal di

Jaringan Distribusi PT.PLN (Persero) Rayon Sukorejo Pasuruan.

1.3 Landasan Teori

Gardu Portal, yaitu gardu distribusi yang bangunan pelindungnya atau penyangganya terbuat dari tiang. Dalam hal ini trafo distribusi terletak di bagian atas tiang. Karena trafo distribusi terletak pada bagian atas tiang, maka gardu tiang hanya dapat melayani daya listrik terbatas, mengingat berat trafo yang relatif tinggi, sehingga tidak mungkin menempatkan trafo berkapasitas besar di bagian atas tiang (± 5 meter di atas tanah).

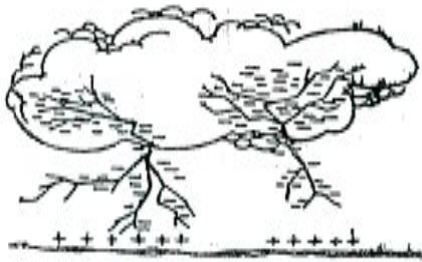
1.3.1 Teori Sambaran Petir

Muatan dari pusat muatan mengalir ke dalam kanal terionisasi, mempertahankan gradien tegangan tinggi pada ujung kanal dan melanjutkan proses tembus listrik. Formasi suatu sambaran petir berikutnya dalam tembus listrik progresif pada jalur busur api lebih kecil dari pada tembus listrik sesaat dan terintegrasi di udara sepanjang kanal.

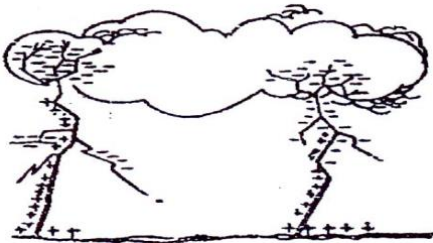


Gambar 1.1. Muatan sepanjang tepi awan menginduksikan muatan lawan pada bumi Sambaran petir ke bumi diawali ketika muatan sepanjang tepi awan menginduksikan suatu

muatan lawan ke bumi (gambar 1.1), lidah arah bawah menyebar dari awan ke arah bumi seperti pada (gambar 1.2). Jika pusat muatan kecil, semua muatan bisa saja dilepaskan selama lidah utama (*pilot leader*) terbentuk dan sambaran tidak lengkap. Ketika sambaran lengkap, pusat muatan kecil tampaknya dikosongkan, akibatnya lidah petir juga berhenti. Begitu pusat muatan baru terbentuk maka lidah petir terbentuk lagi secara cepat.

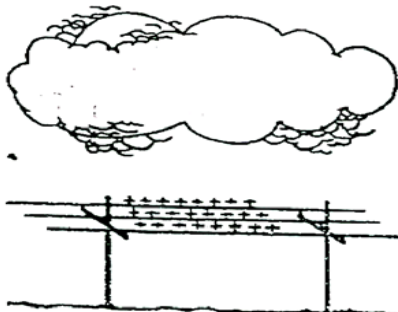


Gambar 1.2. Lidah petir menjalar ke arah bumi



Gambar 1.3. Kilat sambaran balik dari bumi ke awan

Begitu lidah petir mendekati bumi, sambaran ke arah atas terbentuk dan biasanya berawal dari titik tertinggi di sekitarnya. Bila lidah petir ke arah atas dan ke bawah bertemu (Gambar 1.2) suatu hubungan awan ke bumi terbentuk dan energi muatan dari awan dilepaskan ke dalam tanah. Muatan - muatan dapat terinduksi ke jaringan listrik yang berada di sekitar sambaran petir ke tanah. Walaupun muatan awan dan bumi dinetralkan melalui jalur awan ke tanah, muatan dapat terjebak pada jaringan listrik (Gambar 1.3).



Gambar 1.4. Kumpulan muatan pada suatu saluran distribusi

Besar muatan yang terjebak ini tergantung pada gradien mula awan ke bumi dan kedekatan sambaran ke jaringan. Tegangan terinduksi pada jaringan listrik dari sambaran di tempat jauh, akan menjalar sepanjang jaringan dalam bentuk

gelombang berjalan sampai dihilangkan oleh pengurangan (*attenuasi*), kebocoran, isolator rusak atau pecah atau *arrester* beroperasi bila sambaran langsung ke jaringan listrik dan tegangan meningkat secara cepat pada titik kontak (Sumber :Hutauruk, T.S, 1991).

1.3.2 waktu muka arus petir

Waktu muka atau waktu puncak merupakan parameter yang cukup penting untuk menghitung tegangan lebih yang disebabkan oleh sambaran petir pada jaringan distribusi. Menurut sirait dan zoro (1987) dari hasil percobaan menunjukkan bahwa waktu muka ternyata bervariasi antara 0,5 – 10 mikro detik. Semakin kecil waktu mukanya, maka semakin cepat harga puncak amplitude tercapai dan ini lebih berbahaya dari arus petir dengan waktu muka yang lebih besar. Hubungan antara waktu mencapai harga puncak dengan seringnya terjadi dapat dilihat pada tabel 1.1 dan 1.2 berikut.

Tabel 1.1 hubungan antara arus petir dan seringnya terjadi

Arus petir (kA)	Seringnya terjadi (%)
20	36
40	34
60	20
80	8
100	2

Tabel 1.2 hubungan antara waktu mencapai harga puncak dan seringnya terjadi

Arus petir (kA)	Seringnya terjadi (%)
0,5	7
1,0	23
1,5	22
2,0	18
2,5	30

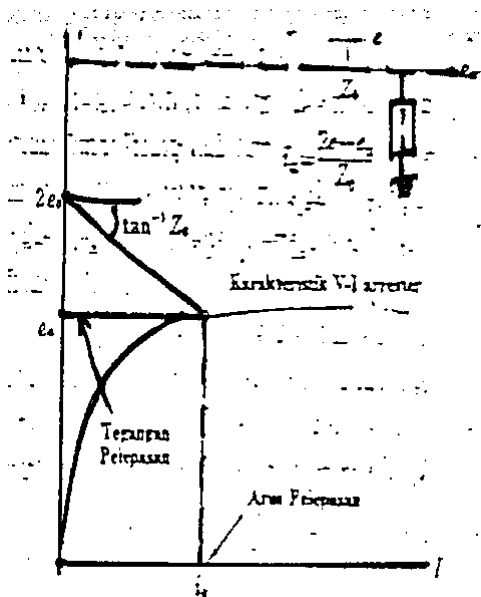
Sumber : sirait dan zoro, proteksi sistem tenaga (1987)

1.3.3 Lightning Arrester

arrester adalah alat pengaman yang melindungi jaringan dan peralatannya terhadap tegangan lebih abnormal yang terjadi karena sambaran petir (*flash over*) dan surja hubung (*switching surge*) disuatu jaringan. Persyaratan yang harus dipenuhi oleh arrester adalah sebagai berikut: 1).Tegangan percikan (*sparkover voltage*) dan tegangan pelepasannya (*discharge voltage*), yaitu tegangan pada terminalnya pada waktu pelepasan, harus cukup rendah, sehingga dapat mengamankan isolasi peralatan. Tegangan percikan disebut juga tegangan gagal sela (*gap breakdown voltage*) sedangkan tegangan pelepasan disebut juga tegangan sisa (*residual voltage*) atau jatuh tegangan (*voltage drop*) Jatuh tegangan pada arrester. 2).Arrester harus mampu memutuskan arus dinamik dan dapat bekerja terus seperti semula.



Gambar 1.5 Arus melalui Arrester



Gambar 1.6 Tegangan dan Arus Pelepasan Pada Arrester

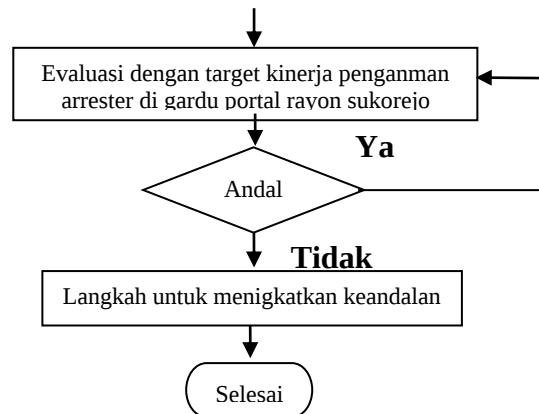
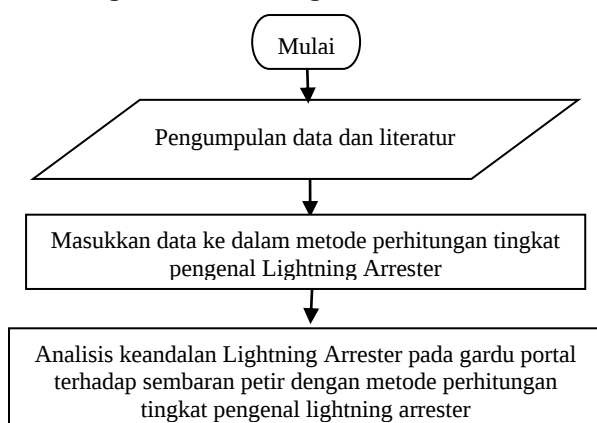
1.4 Hasil penelitian terdahulu

Hasil penelitian syamsir abduh,2002, yang berjudul“Analisis sambaran petir pada tiang transmisi menggunakan metode *Lattice*” menyimpulkan Peningkatan tegangan sambaran pada tiang transmisi menyebabkan kenaikan arus sambaran. Jika berlanjut pada lengan tiang penyangga dan mengganggu isolator maka jika tegangan transien yang timbul melebihi kemampuan isolator maka menyebabkan sambaran balik (*back flash*). Penambahan tinggi tiang menyebabkan penurunan tegangan puncak tiang transmisi.

Sedangkan hasil penelitian Miftahul Farqi,2007,yang berjudul “Studi Perencanaan Perlindungan Peralatan Terhadap Tegangan Lebih Akibat Sambaran Petir Pada Stasiun Pemancar Televisi JTV”minyimpulkan bahwa Untuk mengoptimalkan pemasangan sistem proteksi petir dilakukan pembagian daerah proteksi yang dikenal dengan zona proteksi petir. Perlindungan peralatan elektronik dapat dilakukan dengan memasang suger arrester.

2. RANCANGAN PENELITIAN

2.1 Diagram Alir rancangan Penelitian



Gambar 2.1 Diagram Alir rancangan Penelitian Pada penelitian ini penulis menggunakan metode perhitungan tingkat pengenalan lightning arrester dan fused cut, adapun langkah– langkah perhitungannya sebagai berikut:

✓ Rating Lightning Arrester

Tabel 2.1 Karakteristik arrester

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

STD = Tegangan percikan impuls maksimum

FOW =Tegangan percikan impuls muka gelombang

Sumber : SPLN 64 1995

1) Tegangan Pengenal (Rated Volted)

Tegangan pengenalan adalah tegangan dimana penangkal petir masih dapat bekerja sesuai dengan karakteristiknya. Sistem yang terlalu besar akan menyebabkan penangkal petir rusak akibat beban lebih termis (*Thermis Over Loading*).

Tabel 2.2 Tegangan pengenalan Lightning Arrester

No	Spesifikasi	Tegangan Nominal Sistem		
		20 kV	70 kV	150 kV
1	Tegangan tinggi untuk peralatan	24 kV	72,5 kV	270 kV
2	Pengetanahan netral	Tahanan	Tahanan	Efektif
3	Transformator tegangan pengenalan (sisi TT) tingkat isolasi dasar	20 kV	75 kV	150 kV
4		125 kV	325 kV	650 kV
5	Penangkap petir	24 kV	75kV	150kV
6	Tegangan pengenalan kelas	10KA tugas ringan	10KA tugas ringan 5KA seri A	10KA tugas berat 10KA tugas ringan

Sumber : SPLN 7C: 1987

2) Arus Pelepasan Nominal (Nominali Discharge Current)

Merupakan Arus pelepasan dengan harga puncak dan bentuk gelombang tertentu yang digunakan untuk menentukan kelas *lightning*

arrester dari penangkap petir sesuai dengan kemampuan penangkal arus dan karakteristik pelindungnya. Untuk mengetahui nilai dari arus pelepasan nominal dapat di ketahui pada tabel 2.1.

3) Tegangan percikan frekuensi jala-jala (Power Frekwensi spark over Voltage)

Tegangan percikan frekwensi jala –jala = $\sqrt{2} \times$ tegangan pengenalan penangkap petir..... (2.1)

4) Tegangan percikan Impuls Maksimum (Maksimum impuls sperk over Voltage)

Tegangan percikan impuls maksimum adalah tegangan gelombang impuls tinggi yang terjadi pada terminal penagkap petir sebelum penangkap petir bekerja hal ini menunjukkan bahwa jika tegangan puncak surja yang datang mempunyai harga tinggi atau sama dengan tegangan percikan maksimum dari penangkal petir, maka lightning arrester tersebut akan bekerja memotong surja petir dan mengalirkannya ke tanah.

Tabel 2.3 Tegangan Impuls Maksimum

No	Pengenal Lightning Arrester	Front Spepnes FOW	Arrester 10 KA jenis tugas berat		5 KA	
	kV rms	kV / μ s	Std *** kV puncak	FOW* kV puncak	Std*** kV puncak	FOW* kV puncak
	1	2	3	4	5	6
1	3	25	13	15	21	26
2	4,5	37	17,5	20	-	36
3	6	50	22,6	16	40	44
4	7,5	62	27	31	-	52
5	9	75	32,5	38	58	59
6	10,5	87	38	44	-	-
7	12	100	43	50	70	73
8	15	125	54	62	80	83
9	18	150	65	75	86	91
10	21	175	76	88	94	106
11	24	200	87	100	110	121
12	27	225	97	112	125	133

Sumber : SPLN 7C: 1987

5) Tegangan Sisa (Residual Voltage)

Tegangan sisa adalah tegangan yang timbul antara terminal penangkap petir pada saat arus petir yang mengalir ketanah tegangan sisa dan tegangan nominal dari suatu penangkal petir tertentu tergantung pada kecuraman pada arus yang datang (di/dt dalam amper / mikro second) dan amplitude dari arus pelepasan (Discharge Voltage).

Tabel 2.4 Penentuan Tegangan sisa

No	Teg Pengenal Arrester kV puncak	Arrester 10 kV jenis tugas berat dan 5 kA seri A kV puncak	5kA seri B kV puncak	2,5 kA kV puncak	1,5 kA kV puncak
	1	2	3	4	5
1	3	13	18	13	+++
2	4,5	17,5	24	17,5	+++
3	6	22,6	31	22,6	+++
4	7,5	27	39	27	+++
5	9	32,5	46	32,5	+++
6	10,5	38	-	38	+++
7	12	43	54	43	+++
8	15	54	64	54	+++
9	18	73	65	63	+++
10	21	83	76	64	+++
11	24	91	87	75	+++
12	27	99	97	86	+++

Sumber : SPLN 7C: 1987

6) Arus pelepasan maksimum (maksimum discharge current)

Arus pelepasan maksimum adalah arus surja maksimum yang dapat mengalir melalui penangkap petir setelah tembusanya sela api seri tanpa merusak atau merubah karakteristik dari penangkap petir. Penentuan arus pelepasan maksimum dapat ditentukan pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Arus pelepasan maksimum

No	Kelas penangkap petir / Arus pelepasan Nominal (Ampere)	Harga puncak Arus Surja (kilo ampere)
1	10 kA Tugas berat	100
2	10 kA Tugas Ringan	100
3	5 kA	65
4	2.5 kA	25
5	1.5 kA	10

Sumber : SPLN 7C: 1987

7) Faktor Perlindung Lightning Arrester

a. Tingkat Perlindungan (TP) = $V_a \times$ faktor pembumian (2.2)

b. Jadi diperoleh faktor terjadinya gangguan:

$$FP = \frac{TIDtrafo - TP}{TIDtrafo} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

c. Faktor perlindungan

$$FP = F_{gangguan} - 100 \% \dots \dots \dots (2.4)$$

✓ Tegangan dasar Lightning Arestor

$$E_r = 1,2 \times V_m \dots \dots \dots (2.5)$$

(Sumber : A.Arismunandar,33)

✓ Analisis penentuan Tingkat Pengenal Arrester Terhadap keamanan Transformator.

8) Perhitungan impedansi surja

$$(r) = \sqrt{A} / \pi \dots \dots \dots (2.6)$$

Impedansi surja dapat dihitung sebagai berikut:

$$Z\phi = 60 \ln (2 \text{ h/r}) \Omega \dots \dots \dots (2.7)$$

9) Penentuan Arus lepasan dari Lightning Arrester

$$I_a = \frac{2 E_d - E_a}{Z\phi} \dots \dots \dots (2.8)$$

(Sumber : T.S. hutahuruk,1991,124)

✓ Perhitungan Jumlah Sambaran petir Ke bumi

$$N = (\text{jumlah petir per-hari}) / 365 \dots \dots (2.9)$$

$$L = N \times IKL \text{ daerah} \dots \dots \dots (2.10)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab hasil dan pembahasan ini akan dilaksanakan perhitungan analisis keandalan Lightning arrester hanya pada tegangan pembanding 24kV saja, sedangkan tegangan pengenalan 18kV dan 21kV tidak ditampilkan direnaka langkah perhitungannya hampir sama. Untuk mengetahui tingkat keandalan Lightning Arrester dilakukan langkah-langkah perhitungan sebagai berikut:

3.1 Perhitungan arrester

1. Tegangan percikan frekuensi jala – jala

Tegangan jala –jala untuk pada tegangan sistem 20 kV dapat ditentukan nilainya, berdasarkan rumusan menurut IEC yaitu:

$$\text{Tegangan percikan frekwensi jala –jala} = \sqrt{2} \times \text{tegangan pengenalan penangkap petir} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$= \sqrt{2} \times 24 \text{ kV}$$

$$= 34 \text{ kV.}$$

2. Faktor perlindungan lightning arrester

Untuk menentukan faktor perlindungan pada *lightning arrester*, maka dilakukan langkah-langkah perhitungan sebagai berikut :

a. Tegangan kerja arrester

Berdasarkan tabel 2.1 pemilihan tegangan kerja *arrester*, maka jika sebuah *arrester* memiliki tegangan pembanding 24 kV maka tegangan kerja *arrester* 87 kV.

b. Tingkat Perlindungan

Berdasarkan rumusan menurut IEC pada faktor toleransi sebesar 20% (0,2) dan koefisien pembumiannya sebesar 100% (1,0), maka dari hasil penjumlahan faktor toleransi dan faktor pembumian sebesar 1,2. Untuk mengetahui tingkat perlindungan tersebut maka dapat di gunakan rumusan dibawah ini:

$$(TP) = V_a \times \text{faktor pembumian} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$= V_a \times 1,2$$

$$= 87 \times 1,2$$

$$= 104,4 \text{ kV}$$

c. Faktor terjadinya gangguan

Untuk mengetahui faktor terjadinya gangguan pada tegangan pembanding *arrester* 24 kV, berdasarkan rumusan menurut IEC yaitu:

$$F_{\text{gangguan}} = \frac{TID_{\text{trafo}} - TP}{TID_{\text{trafo}}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

$$= \frac{125 - 104,4}{125} \times 100\%$$

$$= 16,48\%$$

d. Faktor perlindungan

Faktor perlindungan pada tegangan pembanding *arrester* 24 kV dapat di ketahui pada rumusan di bawah ini:

$$FP = F_{\text{gangguan}} - 100 \% \dots\dots\dots (2.4)$$

$$= 16,48 \% - 100\%$$

$$= 83,52 \%$$

Demikian pula untuk penentuan rating *lightning arrester* untuk tegangan pengenalan 21 kV dan 18 kV dapat ditentukan dengan cara yang sama.

Tabel 4.1 Data perbandingan rating pengenalan *lightning arrester* 18 kV, 21 kV dan 24 kV

No	Gardu Portal	Tegangan pengenalan (kV)	Tegangan percikan frekuensi jala - jala (kV)	Tegangan kerja arrester (kV)	Tingkat Perlindungan (kV)	Faktor perlindungan Lightning Arrester %
1	Pembanding	24 kV	34 kV	87	104,4	83,52%
2	Polaman	21 kV	30 kV	76	91,2	72,96%
3	Tutur	18 kV	25 kV	65	78	62,4%
4	Lemah bang	18 kV	25 kV	65	78	62,4%
5	Glagah sari	18 kV	25 kV	65	78	62,4%
6	Simping	18 kV	25 kV	65	78	62,4%
7	Martoporo	21 kV	30 kV	76	91,2	72,96%
8	Purwodadi	18 kV	25 kV	65	78	62,4%

Dari tabel 4.1 Dapat disimpulkan bahwa *lightning arrester* dengan tegangan pembanding 24 kV lebih andal dibandingkan dengan *lightning arrester* dengan tegangan pengenalan 18 kV dan 21 kV yang terpasang di gardu portal.

✓ Tegangan dasar Lightning Arrester

Untuk menentukan tegangan dasar dari *lightning arrester* maka tegangan sistem harus dikalikan dengan koefisien tanah, karena pada saluran jaringan distribusi di PT. PLN sukorejo pasuruan pengetanahannya menggunakan tahanan. Koefisien pentanahan diberikan 1,2, jadi tegangan dasar dari *lightning arrester* berdasarkan rumusan menurut (ArisMunandar,33) yaitu:

$$E_r = 1,2 \times V_m \dots\dots\dots (2.5)$$

$$= 1,2 \times 20$$

$$= 24 \text{ kV}$$

✓ Analisis penentuan Tingkat Pengenal Arrester Terhadap keamanan Transformator

Analisis penentuan Tingkat Pengenal *Arrester* Terhadap keamanan Transformator dapat ditentukan dengan hasil perhitungan dan pengamatan tingkat pengenalan *Arrester*. Untuk mengetahui tingkat keamanan *Arrester* adalah dengan mengetahui nilai arus pelepasan dari *arrester* pada saat saluran terkena sambaran petir.

3. Perhitungan impedansi surja

Kawat penghantar yang digunakan pada saluran 20 kV pada gardu portal di jaringa Distribusi PT.PLN (Persero) Rayon sukorejo pasuruan yaitu jenis Cu dengan luas penampang 1 x 50 mm² dan Al dengan luas penampang 1 x 70 mm².

Untuk menentukan Impedansi Surja pada penghantar 1 x 50 mm² maka di gunakan persamaan (2.5) dan (2.6) berdasarkan rumusan menurut (T.S. hutahuruk,1991) yaitu:

$$(r) = \sqrt{A} / \pi \dots\dots\dots (2.6)$$

$$R = \sqrt{0.00005 / 3,14}$$

$$r = 2,25 \times 10^{-3}$$

Impedansi surja dapat dihitung sebagai berikut:

$$Z_{\phi} = 60 \ln (2 \text{ h/r}) \Omega \dots\dots\dots (2.7)$$

$$= 60 \ln (2. 10 / 2,25 \times 10^{-3}) \Omega$$

$$= 545,55 \Omega$$

Untuk kawat penghantar dengan luas penampang 1x 70 mm² dapat ditentukan dengan cara yang sama.

Tabel 4.2 Data perhitungan impedansi surja penghantar berdasarkan luas penampangnya

No	Luas Penampang (mm ²)	Jari-jari (mm)	Impedansi surja
1	1 x 50	$2,25 \times 10^{-3}$	545,55 Ω
2	1 x 70	$2,66 \times 10^{-3}$	535,51 Ω

Pada tabel 4.2 dapat di simpulkan bahwa Untuk masing-masing ukuran tiap penghantar memiliki perbedaan impedansi surja dengan menghitung jari-jari menurut pada masing-masing luas penampangnya, semakin besar luas penampangnya semakin kecil impedansi surjanya.

4. Perhitungan Arus yang melalui Arrester

Pada penghantar dengan diameter 1 x 50 mm² dan memiliki impedansi surja sebesar 545,55 Ω . Untuk menentukan nilai Ed dan Ea dapat di ketahui melalui tabel (2.3) dan (2.4) pada tegangan pembanding *arrester* 24 kV.

$$E_d = 87 \text{ kV}$$

$$E_a = 91 \text{ kV}$$

Untuk mengetahui arus yang melewati *Arrester* pada tegangan pembanding 24 kV, berdasarkan rumusan menurut (T.S. hutahuruk,1991) yaitu:

$$I_a = \frac{2Ed - Ea}{Z\phi} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$= \frac{2 \times 87 - 91}{545,55}$$

$$= 0,152 \text{ kA}$$

5. Perhitungan Arus yang melalui Arrester

Pada penghantar dengan diameter 1 x 50 mm² dan memiliki impedansi surja sebesar 545,55 Ω. Untuk menentukan nilai Ed dan Ea dapat di ketahui melalui tabel (2.3) dan (2.4) pada tegangan pengenalan *arrester* 21 kV.

$$Ed = 76 \text{ kV}$$

$$Ea = 83 \text{ kV}$$

Untuk mengetahui arus yang melewati *Arrester* pada tegangan pengenalan 21 kV, berdasarkan rumusan menurut (T.S. hutahuruk,1991) yaitu:

$$I_a = \frac{2Ed - Ea}{Z\phi}$$

$$= \frac{2 \times 76 - 83}{545,55}$$

$$= 0,126 \text{ kA.}$$

6. Perhitungan Arus yang melalui Arrester

Pada penghantar dengan diameter 1 x 50 mm² dan memiliki impedansi surja sebesar 545,55 Ω. Untuk menentukan nilai Ed dan Ea dapat di ketahui melalui tabel (2.3) dan (2.4) pada tegangan pengenalan *arrester* 18 kV.

$$Ed = 65 \text{ kV}$$

$$Ea = 73 \text{ kV}$$

Untuk mengetahui arus yang melewati *Arrester* pada tegangan pengenalan 18 kV, berdasarkan rumusan menurut (T.S. hutahuruk,1991) yaitu:

$$I_a = \frac{2Ed - Ea}{Z\phi}$$

$$= \frac{2 \times 65 - 73}{545,55}$$

$$= 0,104 \text{ kA}$$

Dengan cara yang sama dapat diketahui arus pelepasan untuk masing-masing penghantar pada *arrester* dengan luas penampang 1 x 70 mm².

Tabel 4.3 Arus pelepasan *arrester* dengan tegangan pengenalan 24 kV, 21 kV dan 18 kV

No	Tegangan pengenalan Arrester	Luas penampang (mm ²)	Impedansi surja Ω	Arus pelepasan kA
1	18 kV	1 x 50	545,55	0,152
		1 x 70	535,51	0,155
2	21 kV	1 x 50	545,55	0,126
		1 x 70	535,51	0,129
3	24 kV	1 x 50	545,55	0,104
		1 x 70	535,51	0,106

Dari tabel 4.3, dapat diketahui bahwa luas penampang 1 x 70 mm² lebih andal dari pada luas penampang 1 x 50 mm².

3.2 Spesifikasi pengaman Arrester

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis di atas, *arrester* yang diteliti memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 4.4 Spesifikasi Arrester

No	Tegangan pengenalan arrester (kV)	Tegangan pembanding arrester (kV)	Tegangan kerja arrester (kV)	Tingkat perlindungan (kV)	Faktor terjadinya gangguan (%)	Faktor perlindungan (%)	Luas penampang (mm ²)	Impedansi surja (Ω)	Arus pelepasan (kA)
----	-----------------------------------	-----------------------------------	------------------------------	---------------------------	--------------------------------	-------------------------	-----------------------------------	---------------------	---------------------

1	18	25	65	78	37,6	62,4	1x50	545,55	0,152
2	21	30	76	91,2	27,03	72,97	1x70	535,51	0,155
							1x50	545,55	0,126
3	24	34	87	104,4	16,46	83,54	1x70	535,51	0,129
							1x50	545,55	0,104
							1x70	535,51	0,106

Dari tabel 4.4 dapat disimpulkan bahwa spesifikasi *arrester* dengan tegangan pembanding 24 kV lebih andal dibandingkan dengan lightning *arrester* dengan tegangan pengenalan 18 kV dan 21 kV.

✓ Jumlah Sambaran petir Ke bumi daerah pasuruan

$$\text{IKL daerah Pasuruan} = 126$$

$$N = (\text{jumlah petir per-hari})/365 \dots\dots\dots (2.9)$$

$$= \frac{44}{365}$$

$$= 0,12$$

$$L = N \times \text{IKL daerah Pasuruan} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$= 0,12 \times 126$$

$$= 15,12 \text{ per km}^2 \text{ pertahun}$$

4. PENUTUP

4.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian keandalan lightning *Arrester* yang di analisis pada gardu portal PT.PLN (Persero) Rayon Sukorejo Pasuruan dapat disimpulkan sebagai berikut:

Pada tegangan pembanding 24 kV faktor perlindungannya sebesar 83,52%, sedangkan faktor terjadinya gangguan sebesar 16,46 %. Pada tegangan pengenalan 21 kV faktor perlindungannya sebesar 72,97 %, sedangkan faktor terjadinya gangguan sebesar 27,03 %. Pada tegangan pengenalan 18 kV faktor perlindungannya sebesar 62,4 %, sedangkan faktor terjadinya gangguan sebesar 37,6 %. Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan untuk keandalan lightning *arrester* pada tegangan pembanding 24 kV lebih andal dari pada *arrester* dengan tegangan pengenalan 18 kV dan 21 kV.

4.2 SARAN

Sebaiknya pengaman yang digunakan pada gardu portal di jaringan distribusi PT.PLN (Persero) Rayon Sukorejo Pasuruan menggunakan Lightning *Arrester* yang 24 kV, hal ini untuk meningkatkan keandalan pengaman tersebut akibat gangguan sambaran petir.

DAFTAR PUSTAKA

Dr.Antono Arismunandar, M.Ac,Teknik Tenaga Listrik, Gardu Induk, PT.Pradnya paramita, Jakarta.

Sirait KT,Zorro R, Proteksi Tegangan Lebih Pada Sistem Tenaga Listrik,FTI, ITB Bandung 1987.

T.S Hutauruk,Gelombang Berjalan dan Proteksi surja , Erlangga 1991.

William D.Stevenson, Jr, Elemen of power system

Analilis, Mc Grow-Hill International book company, international student edition, Third edition, 1975.

Suhadi, Tri Wrahatnolo, Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta, 2008.

Suhadi, Tri Wrahatnolo, Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 2, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta, 2008.

Suhadi, Tri Wrahatnolo, Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 3, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta, 2008.

PTPLN(Persero), Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Jaringan Distribusi Tenaga Listrik, PT PLN (PERSERO) Jalan Trunojoyo Blok M-I / 135, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan, 2010.

PTPLN(Persero), Kriteria Disain Enjinering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik, PT PLN (PERSERO) Jalan Trunojoyo Blok M-I / 135, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan, 2010., PT PLN (PERSERO) Jalan Trunojoyo Blok M-I / 135, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan, 2010

SPLN 7C: 1987

SPLN 64 1995.

Voker hinrichsen, metal-oxide Suger Arrester, siemens AG PTD H413623 berlin, jermany, 2001.