

Studi Penempatan Lightning Arrestter Pada Transformator #2 Gardu Induk PLTG Teluk Lembu PT. PLN (Persero)Pekanbaru

Benni Hasudungan Sirait¹, Arlenny², Abrar Tanjung³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning

Jl. Yos Sudarso Km. 8 Rumbai, Pekanbaru, Telp (0761) 52324

Email : sudung.rait23@gmail.com¹, arlenny@unilak.ac.id², abrar@unilak.ac.id³

Abstract

The transmission lines of 150 kV Substation of the Pekanbaru Ox bay, located on the outskirts of Pekanbaru and Pekanbaru city central Riau province, which has been able to record a lightning strike on the city of Pekanbaru 11.552 / km² / year. One of the equipment's used to protect equipment from lightning surge disturbances is a lightning arrester. The Lightning Arrester installed at the Teluk Lembu Substation is 3.67 meters. For the grounding coefficient, the practical value of the grounding coefficient is 0.6. So that the results obtained from the calculation of the rated voltage Lightning Arrester are 112.2 kV. The Andis charge current Lightning Arrester tool idea at the Teluk Lembu Substation must pass a minimum of 146.87 kA. Based on the calculations obtained, the maximum voltage on the transformer is 187 kV. Based on the above calculation, the voltage value at the transformer terminal is 136.666 kV. So from the manual calculation above, the optimum distance of the lightning arrester on the transformer is 3.67 meters. While the simulation using fuzzy logic optimum distance of the lightning arrester is 3.7 meters.

Keywords: *Lightning Arrester, Transformer, Placement Distance.*

Abstrak

Jaringan transmisi 150 kV Gardu Induk Teluk Lembu Pekanbaru, berada di pinggiran Pekanbaru dan kota Pekanbaru berada di pusat provinsi Riau, yang telah di dapat tercatat sambaran petir pada kota pekanbaru 11,552 / km² / tahun. Peralatan yang di gunakan untuk memproteksi peralatan dari gangguan surja petir salah satunya adalah *lighning arrester*. *Lighning Arrester* yang terpasang di Gardu Induk Teluk Lembu adalah 3,67 meter. Untuk koefisiensi pentanahannya adalah efektif nilai koefisien pembumiannya adalah 0,6. Sehingga di dapatkan hasil dari perhitungan tegangan pengenalan *lightning arrester* adalah 112,2 kV. Arus pelepasan *lightning arrester* pada Gardu Induk Teluk Lembu yang ideal harus mampu melewati minimal 146,87 kA. Berdasarkan perhitungan yang di dapat, hasil dari tegangan maksimal pada transformator adalah 187 kV. Berdasarkan perhitungan di atas di dapatlah nilai tegangan pada terminal transformator adalah 136,666 kV. Maka di dapat dari perhiungan manual di atas jarak optimum *lightning arrester* pada transformator adalah 3,67 meter. Sedangkan simulasi menggunakan *fuzzy logic* jarak optimum *lightning arrester* adalah 3,7 meter.

Kata kunci: *Lightning Arrester, Transformaor, Jarak Penempatan.*

1. PENDAHULUAN

Petir ialah suatu fenomena alam memiliki sifat listrik alam dengan Kekuatan yang begitu kuat, itu bisa merusak peralatan listrik. Sambara petir ke komponen listrik dapat menyebabkan tegangan lebih pada komponen dan kerusakan pada gardu induk serta peralatan listrik yang terpasang di dalamnya. Petir dapat mengenai peratatan dengan beberapa cara, pertama melalui sambaran langsung ke komponen, kedua melalui sambaran tidak langsung ke komponen tetapi petir menyambar peralatan di sekitaran gardu induk. Sambaran tidak langsung yang terkena pada komponen di daerah peralatan ini menyebabkan medan elektromagnetik sehingga sehingga berakibat tegangan induksi pada komponen di gardu induk. Tegangan induksi ini lah dapat mengakibatkan terjadi nya tegangan lebih di peralatan listrik di gardu induk yang dapat membahayakan isolator serta komponen lisrik dan jaringan yang terkoneksi dengan saluran itu. Untuk melindungi komponen listrik dan jaringan dari gangguan tegangan lebih itu, maka memerlukan pemasangan proteksi. Peralaan yang menggunakan perlindungan peralatan listrik pada gardu induk dari sura petir ialah *Lightning Arrester*.

Lightning Arrester di singkat *arrester* atau sering di sebut penangkal petir merupakan alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir, sebagai jalan pintas (by – pass) sekitar isolasi. *Lightning Arrester* membuat aliran yang mudah di lalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan. Penghubung itu harus

sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran arus daya sistem, dan pada kerja normal *Lightning Arrester* itu bersifat menjadi isolator dan jika timbul surja maka dia berlaku menjadi konduktor, yang bisa menyalurkan aliran arus yang tinggi. Sesudah surja hilang *Lightning Arrester* harus sangat cepat berubah kembali menjadi isolator, sehingga pemutus daya tidak sempat membuka.

Lightning Arrester ialah komponen yang paling penting untuk perlindungan gardu induk dari tegangan tinggi, *lightning arrester* sangat di butuhkan dalam gardu induk untuk membatasi *switching* dan lonjakan petir kemudian di alirkan ke tanah.

Kapasitas transformator yang ada pada gardu induk Teluk Lembu ialah sebesar 60 MVA, perlindungan yang baik di peroleh *lightning arrester* di tempatkan sedekat mungkin dengan transformator. Akan tetapi pada kenyataan nya *Lightning arrester* harus di tempatkan pada jarak yang tepat agar protekksi dapat bekerja dengan baik.

Berdasarkan penelasan di atas, di dalam penelitian ini penulis akan membahas tentang jarak penempatan *lightning arrester* yang tepat pada transformator. Untuk itu dilakukan penelitian dengan judul **"Studi Penempatan Lightning Arrester Pada Transformator #2 Di Gardu Induk PLTG Teluk Lembu PT. PLN (Persero) Pekanbaru"**.

2. METODE

2.1 Surja Petir

Petir adalah pemisahan sifat positif dan negatif di awan. Jika muatan ini digabungkan, maka akan menghasilkan daya tarik di awan. Jika muatan negatif dan negatif berdekatan, tolakan dan tolakan akan terjadi. Diiringi gemuruh petir. Bumi adalah tempat di mana muatan positif dan negatif menumpuk, jika petir melepaskan dekat dengan bumi, petir akan menyambar bumi. Pada saat petir menyambar peralatan listrik, maka peralatan listrik tersebut rusak dan tidak boleh digunakan kembali, karena sambaran petir menyebabkan tegangan impuls melebihi BIL (Basic Insulation Level) peralatan penghantar tersebut. (Hajar & Rahman, 2018)

2.2 Pengaruh Surja Petir

Lonjakan petir secara langsung atau diinduksi ke jaringan akan menghasilkan tegangan pulsa yang akan mengalir melalui jaringan ke komponen peralatan. Tegangan pulsa yang dipropagasi secara nominal lebih tinggi dari BIL (Basic Insulation Level) transformator, nilai pulsa adalah $1,2 \times 50$ s, dan tegangan lebih $\pm 0,05 \times V_s$ (tegangan puncak). Tegangan surja yang lebih tinggi dari nilai BIL akan menyebabkan kerusakan pada isolasi trafo, sehingga tegangan surja harus dicegah. (Jayanthana, Gede, Partha, & Arjana, 2020)

2.3 Jumlah Sambaran Petir ke Bumi

Banyaknya sambaran petir ke bumi ialah sangat sebanding dengan jumlah hari guruh pertahun atau di sebut *Iso Keraunik Level* (IKL) di daerah tersebut. Banyak ilmuwan yang telah memfokuskan ke arah ini. Untuk bisa menghitungnya menggunakan rumus seperti di bawah ini: (Atmam, 2015)

Tabel 2.1 Sambaran Petir

Provinsi	IKL
Riau	93

$$N_g = 0,04 \text{ IKL}^{1,25} / \text{km}^2 / \text{tahun} \quad (1)$$

Keterangan :

N_g = Jumlah sambaran petir per km^2 per tahun

IKL = Jumlah hari guruh per tahun

2.4 Lightning Arrester

Lightning Arrester di singkat *arrester* atau biasa di katakan dengan penangkal petir ialah suatu alat bagi pelindung bagi sistem tenaga listrik terhadap surja petir. Arrester berlaku

menjadi jalan pintas (*by-pass*) sekitaran isolasi. *Lightning Arrester* membuat aliran yang mudah di lalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak muncul tegangan lebih yang tinggi pada komponen peralatan. Jalan pintas itu harus sangat baik sehingga tidak mengganggu aliran arus daya sistem 50 Hz. Untuk itu pada keadaan normal *Lightning Arrester* berlaku sebagai isolator kemudian bila timbul surja dia berlaku sebagai konduktor, untuk melewatkan aliran arus yang tinggi. Sesudah surja hilang, *Lightning Arrester* harus dengan cepat berubah menjadi isolator, sehingga pemutus daya tidak sempat membuka. (1)

2.5 Tegangan Pengenal Lightning Arrester

Suatu sistem dapat bekerja pada keadaan tegangan maksimum umum nya tidak melebihi 1,1 kali tegangan nominal sistem. Dalam pemilihan *Lightning Arrester* yang juga harus di lihat ialah koefisien pembumian, di mana faktor dari koefisien pembumian ini nilai nya bergantung pada metode pembumian netral sistem, impedansi urutan positif, dan impedansi urutan nol sistem. Untuk sistem yang tidak di bumikan nilai koefisien pembumian nya adalah 1,0. Untuk sistem yang di bumikan efektif nilai nya = 0,8. Untuk yang di bumikan tidak efektif nilai koefisien pembumian nya adalah 0,8 – 1,0.(Jayanthana et al., 2020)

$$E_a = (V_n \times \text{Koefisiensi Pentanahan}) \times 110\% \quad (2)$$

Dimana :

E_a = Tegangan Pengenal
 V_n = Tegangan Sistem
 K_p = Koefisiensi Pentanahan

2.6 Tegangan Maksimum Sistem

Lightning Arrester terpasang di antara fasa jaringan dengan tanah. Maka, dalam pemilihan *Lightning Arrester* perlu di perhitungkan tegangan phasa ke tanah tertinggi yang mungkin terjadi selama operasi.

Misalkan suatu sistem memiliki tegangan nominal V_{nom} . Tegangan maksimum fasa ke fasa sistem adalah $V_{maks} = 1,1 V_{nom}$.(Tobing, 2016)(Jayanthana et al., 2020)

$$V_{max} = V_{nominal} \times 110\% \quad (3)$$

Dimana :

V_{max} : Tegangan Maksimum
 V_n : Tegangan Nominal

2.7 Perhitungan Arus Pelepasan Lightning Arrester

Arus Pelepasan adalah arus maksimal yang dapat di alirkan oleh *Lightning Arrester* tanpa merusak *Lightning Arrester* itu sendiri :

1. Kelas arus 10 kA, untuk perlindungan gardu induk yang besar dengan frekuensi sambaran petir yang cukup tinggi dengan tegangan sistem di atas 70 kV.
2. Kelas arus 5 kA, untuk tegangan sistem di bawah 70 kV.
3. Kelas arus 2,5 kA, terhadap gardu kecil dengan tegangan sistem di bawah 22 kV, di mana pemakaian kelas 5 kA tidak lagi ekonomis.
4. Kelas arus 1,5 kA, untuk melindungi transformator – transformator kecil.

Untuk arus pelepasan dalam peristiwa gelombang berjalan dapat di tunjukkan dengan persamaan 4 sebagai berikut:(Hajar & Rahman, 2018)

$$I_a = \frac{2U_d - U_a}{Z} \quad (4)$$

Dimana :

I_a = Arus Pelepasan (A)

U_d = Tegangan Gelombang Datang (kV)

U_a = Tegangan Kerja / Sisa (kV)

Z = Impedansi Kawat (Ω) / Impedansi Surya

2.8 Teori Perhitungan Jarak Maksimum

Penempatan *Lightning Arrester* pada gardu induk terdapat di bay penghantar pada gardu induk dan bay transformator gardu induk. Tidak semua penempatan di gardu induk sama jaraknya terhadap transformator daya. Pada bay penghantar, jarak *Lightning Arrester* terhadap transformator biasa nya berkisar dari 3,67 meter. (Gultom, 2017)

Untuk menentukan jarak maksimum *Lightning Arrester* dan peralatan yang di lindungi yang di hubungkan langsung dengan saluran udara di anggap sebagai jepitan terbuka.

Proteksi yang baik di dapat bila *Lightning Arrester* di pasang sedekat mungkin pada jepitan trafo. Tetapi, pada nyatanya *Lightning Arrester* itu harus di tempatkan dengan jarak S dari trafo yang di lindungi. Oleh sebab itu, jarak yang di tentukan agar perlindungan dapat berlangsung dengan baik.

$$S = \frac{v(E_p - E_a)}{2A} \quad (5)$$

Keterangan :

E_a = Tegangan percik *Lightning Arrester*
(*arrester sparkover voltage*)

E_p = Tegangan pada jepitan transformator

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

S = Jarak antara *Lightning Arrester* dengan transformator

v = kecepatan merambat gelombang

Jika transformator dianggap jepitan terbuka, ialah keadaan yang sangat berbahaya, jikalau gelombang mencapai transformator akan terjadi pantulan total, dan gelombang ini kembali ke kawat saluran dengan polaritas yang sama, waktu yang dibutuhkan oleh gelombang untuk merambat kembali ke *Lightning Arrester* $2S/v$. (1)

Gelombang negatif akan merambat ke transformator, kemudian setelah pantulan pertama pada transformator terjadi, jumlah tegangan pada transformator menjadi: (Labado, Pambudi, & Mujiman, n.d.)

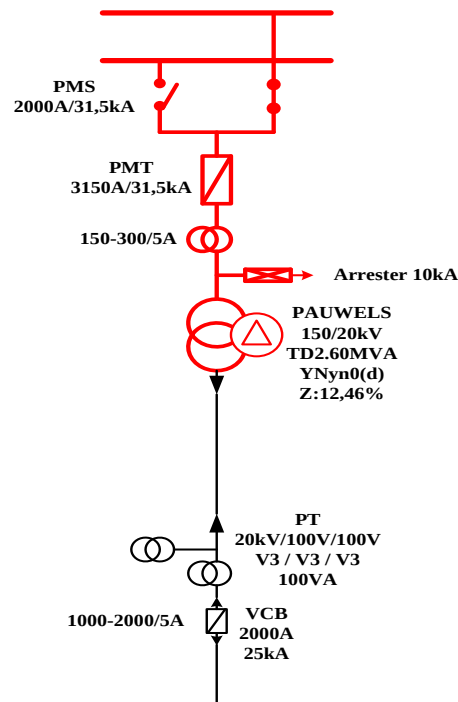
$$E_p = E_a + 2 \frac{AS}{v} \quad (6)$$

Bila tegangan tembus isolator transformator = E_p , maka E_p harus lebih besar dari $(E_a + 2AS/v)$ agar di peroleh perlindungan yang baik. Untuk mengubah harga E_p cukup dengan mengubah S, yaitu makin kecil S maka makin kecil pula E_p . (1)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Single Line diagram TD#2 Gardu Induk Teluk Lembu

Berikut adalah diagram satu garis Transformator Daya unit 2 Gardu Induk Teluk Lembu PT. PLN (Persero) Pekanbaru.



Gambar 3.1 Single line diagram TD#2 Gardu Induk Teluk Lembu

3.2 Spesifikasi Transformator TD#2

Pada objek penelitian ini ada transformator daya 3 fasa dengan tegangan dan arus. Spesifikasi transformator daya 3 fasa yang di gunakan dapat di lihat pada tabel 3.1

Table 3.1 Spesifikasi Transformator TD#2

URAIAN	DATA
BAY	TD#2 (60 MVA)
Tipe	M B A - 4
Merk	B M B
V_{nom}	170
Arus Discharge	10
Tegangan Impuls	120
BIL (kV)	-
Nomor Seri	RQ. 951. MCOP
Pembuatan	1976
Operasi	1995
Status	Operasi
Keterangan	Tinggi

3.3 BIL Transformator TD#2

BIL ini menyatakan tingkat isolasi terhadap petir. Agar pemakaian *lightining arrester* dalam koordinasi isolasi dapat memberikan hasil yang maksimal perlu berpedoman pada SPLN. Berikut ini adalah tabel 3.2 yang menunjukkan perbandingan BIL dengan tegangan sistem maksimum:

Tabel 3.2 BIL Transformator TD#2

URAIAN	TEGANGAN (kV)	BIL TRANSFORMATOR (kV)
Maksimal	275	650
Minimal	50	125

3.4 Spesifikasi *Lightning Arrester*

Pada objek penelitian ini ada data spesifikasi *lightning arrester* yang di gunakan oleh Gardu Induk Teluk Lembu tepat nya di Transformator #2 dapat di lihat pada tabel 3.3 berikut ini:

Tabel 3.3 Spesifikasi *Lightning Arrester*

URAIAN	DATA
BAY	TD#2 (60 MVA)
Tipe	M B A - 4
Merk	B M B
V_{nom}	170
Arus Discharge	10
Tegangan Impuls	120
BIL (kV)	-
Nomor Seri	RQ. 951. MCOP
Pembuatan	1976
Operasi	1995
Status	Operasi
Keterangan	Tinggi

3.5 Data Eksisting

Seperti data spesifikasi transformator dan spesifikasi *lightning arrester* di atas, data eksisting juga sangat di butuhkan untuk menghitung tegangan pengenal *lightning arrester*, tegangan maksimal pada transformator, arus pelepasan *lightning arrester*, serta menghitung jarak *lightning arrester*. Berikut adalah data eksisting pada table 3.4:

Table 3.4 Data Eksisting

V_n	K_p	U_d	U_a	Z	v	S	A
170	0,6	1000	170	12,46	300	3,67	1000

Keterangan :

V_n : Tegangan Sistem

K_p : Koefisiensi Pentanahan

U_d : Tegangan Gelombang Datang

U_a : Tegangan Kerja

Z : Impedansi

v : Cepat Rambat Gelombang

S : Jarak *Lightning Arrester* dari Transformator

A : Kecuraman Muka Gelombang

3.6 Jarak Sambaran

Jarak sambar (*Striking distance*) adalah jarak antara ujung lidah petir yang bergerak kebawah (*Downward leader*) bertemu dengan petir penghubung yang bergerak ke atas (*Connecting leader*) pada suatu titik-titik ini disebut titik sambar, menurut *empiris* jarak sambar merupakan fungsi dari arus puncak petir dan sebagian peneliti juga menurunkan bahwa jarak sambar juga adalah fungsi tinggi struktur, ada beberapa nama peneliti untuk mendapatkan jarak sambar tersebut seperti Tabel 3.5, tabel 3.6, dan tabel 3.7

Tabel 3.5 Beberapa persamaan jarak sambar (r)

Penelitian	rg = Sambaran ke tanah		rg = sambaran ke kawat	
	A	b	A	b
Wagner	14,2	0,42	14,2	0,42
Young	27	0,32	Ng (5)	0,32
Amstrong & whithead	6	0,8	6,7	0,8
Brown & whithead	6,4	0,75	7,1	0,75
Love	10	0,65	10	0,65
Anderson & IEEE – 1985	$\beta_{rg} (1)$	0,65	8	0,65
IEEE – 1991 T & D committee	$\beta_{rg} (2)$	0,65	8	0,6
IEEE – 1992 T & D committee	$\beta_{rg} (3)$	0,65	10	0,65
Mouse & IEEE – 1995 subsations committee (4)	8		8	0,65

Tabel 3.6 Karakteristik petir dan kondisi cuaca di daerah tropis

Karakteristik petir			Polaritas Negatif	Polaritas Positif
Arus puncak (i)	Maksimum	Tangkuban perahu	280 kA	298 kA
		Jawa Barat	335 kA	392 kA
	Probability 50%		40 kA	18 kA
	Rata – rata		41 kA	30 kA
Kecuram an (di/dt)	Maksimum		119 kA/μs	120kA/μs
	Probability 50%		30 kA/μs	20 kA/μs
Kerapatan sambaran (sambaran/km2/tahun)			4,1 – 12,4	1,5 – 3,8
Kerapatan sambaran Total (sambaran / km ² / tahun)			7,9 – 15,5	

Tabel 3.7 Parameter petir berdasarkan IEC 62305; 1-5. *Protection against lightning*

Protektion level	Limitation of lightning strike capacity (As)	
	Short impuls Qs	Long impuls Qs
Normal	50	100
hight	75	150
Very hight	100	200

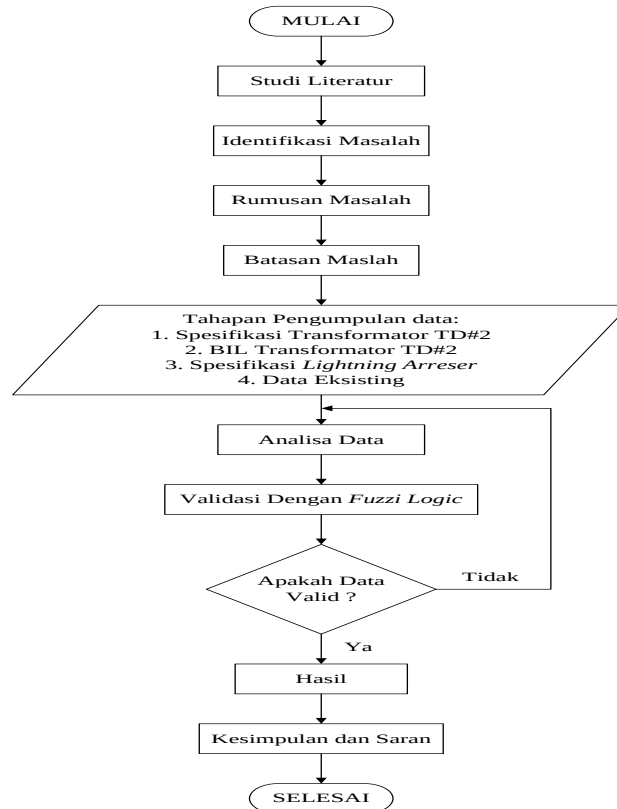
3.7 Fuzzy Rule

Berikut di bawah ini adalah rule fuzzy yang di buat sebagai aturan dari parameter simulasi *fuzzy logic* pada bab 4 dan di tuliskan pada table 3.8 :

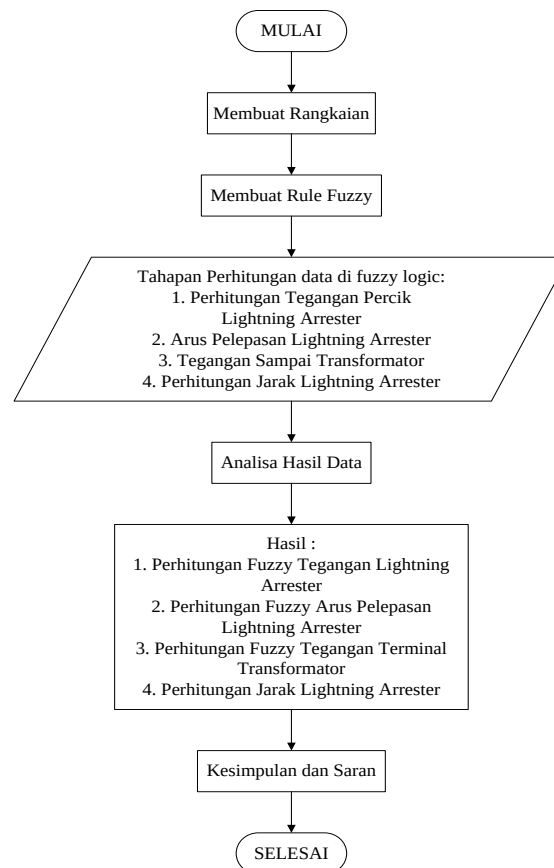
Tabel 3.8 Fuzzy Rule

Rule	Arus Pelepasan Arrester (Ia)	Ep	Ea	S_fix	Arus Pelepasan Arrester (Ia) (A)	Ep	Ea	S_fix (m)
1	Rendah	Rendah	rendah	dekat	2000	174,5	115,5	3,7
2	Rendah	Rendah	sedang	dekat	2000	174,5	129	6,825
3	Rendah	Rendah	tinggi	dekat	2000	174,5	142,5	4,8
4	Rendah	Sedang	rendah	jauh	2000	189,8	115,5	11,145
5	Rendah	Sedang	sedang	sedang	2000	189,8	129	9,12
6	Rendah	Sedang	tinggi	sedang	2000	189,8	142,5	7,095
7	Rendah	Tinggi	rendah	jauh	2000	196,3	115,5	12,12
8	Rendah	Tinggi	sedang	jauh	2000	196,3	129	10,095
9	Rendah	Tinggi	tinggi	sedang	2000	196,3	142,5	6,07
10	Sedang	Rendah	rendah	rendah	5000	174,5	115,5	3,7
11	Sedang	Rendah	sedang	sedang	5000	174,5	129	6,825
12	Sedang	Rendah	tinggi	dekat	5000	174,5	142,5	4,8
13	Sedang	Sedang	rendah	jauh	5000	189,8	115,5	11,145
14	Sedang	Sedang	sedang	jauh	5000	189,8	129	9,12
15	Sedang	Sedang	tinggi	sedang	5000	189,8	142,5	7,095
16	Sedang	Tinggi	rendah	jauh	5000	196,3	115,5	12,12
17	Sedang	Tinggi	sedang	jauh	5000	196,3	129	10,095
18	Sedang	Tinggi	tinggi	jauh	5000	196,3	142,5	8,07
19	Tinggi	Rendah	rendah	jauh	8000	174,5	115,5	10,85
20	Tinggi	Rendah	sedang	jauh	8000	174,5	129	8,825
21	Tinggi	Rendah	tinggi	sedang	8000	174,5	142,5	6,8
22	Tinggi	Sedang	rendah	jauh	8000	189,8	115,5	13,145
23	Tinggi	Sedang	sedang	jauh	8000	189,8	129	11,12
24	Tinggi	Sedang	tinggi	jauh	8000	189,8	142,5	9,095
25	Tinggi	Tinggi	rendah	jauh	8000	196,3	115,5	14,12
26	Tinggi	Tinggi	sedang	jauh	8000	196,3	129	12,095
27	Tinggi	Tinggi	tinggi	jauh	8000	196,3	142,5	10,07

3.8 Teknik Analisa Data



Gambar 3.3 *Flowchart* pelaksanaan penelitian tugas akhir



Gambar 3.4 *Flowchart Fuzzy Logic*

3.9 Perhitungan Jarak Optimum

Dari seluruh perhitungan yang telah dilakukan, di tabel 4.1 yang ini akan di rangkum seluruh hasil perhitungan nya:

Tabel 4.1 dari hasil seluruh perhitungan manual:

Label	Hasil
N	11,552 / km^2 / tahun
E _a	112,2 kV
I _a	146,87 kA
V _m	187 kV
E _p	136,666 kV
S	3,67 m

4. KESIMPULAN

1. Jarak optimal *Lightning Arrester* dari hasil dari perhitungan manual adalah 3,67 m, sedangkan hasil simulasi *fuzzy logic* perhitungan jaraknya adalah 3,7m, dari jarak yang terpasang pada gardu induk adalah 3,67 m
2. Bahwa di *fuzzy logic* tidak biasa menampilkan grafik pasti, hanya bisa menampilkan grafik hasil penempatan.
3. Hasil perhitungan manual dari tegangan *Lightning Arrester* adalah 112,2 kV, sedangkan hasil perhitungan tegangan *Lightning Arrester* menggunakan *fuzzy logic* adalah 112,2 kV. Hasil perhitungan manual tegangan masuk terminal transformator adalah 136,666 kV dan hasil perhitungan menggunakan *fuzzy logic* adalah 136,7 kV. Hasil perhitungan manual dari arus pelepasan *Lightning Arrester* adalah 146,87 kA, dan hasil perhitungan arus pelepasan menggunakan *fuzzy logic* adalah 146,9 kA.

4.1 Saran

1. Perlu ada nya pengujian dengan teori lain untuk bias membandingkan hasil perhitungan yang telah penulis buat.
2. Supaya mencari metoda yang mendekati hasil perhitungan agar mendapatkan penempatan yang optimal.
3. Pemasangan *Lightning Arrester* berdasarkan jarak nya dengan transformator yang telah terpasang masih dalam batas aman yaitu 3,67 meter.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmam, U. S. (2015). Perancangan Kinerja Penangkal Petir Menggunakan Metoda Bola Gelinding Pada Gedung Perpustakaan Universitas Lancang Kuning Pekanbaru. *Jurnal Sains, Teknologi Dan Industri*, 13(1), 130–135.
- Gultom, T. T. (2017). OPTIMASI JARAK MAKSIMUM PENEMPATAN LIGHTNING ARRESTER SEBAGAI PROTEKSI TRANSFORMATOR PADA GARDU INDUK, 3(1).
- Hajar, I., & Rahman, E. (2018). Kajian Pemasangan Lightning Arrester Pada Sisi Hv Transformator Daya Unit Satu Gardu Induk Teluk Betung. *Energi & Kelistrikan*, 9(2), 168–179. <https://doi.org/10.33322/energi.v9i2.42>
- Jayanthana, Ip. W., Gede, C., Partha, I., & Arjana, I. G. D. (2020). ANALISIA PENEMPATAN LIGHTNING ARRESTER PADA CABLE HEAD 60 SEBAGAI PENGAMAN TRANSFORMATOR GIS BANDARA NGURAH RAI, 7(1), 144–151.
- Labado, R., Pambudi, P. E., & Mujiman. (n.d.). Analisis Penempatan Arrester Terhadap Efektifitas

Proteksi Transformator Pada PT . PLN (Persero) P3B Jawa-Bali APP Salatiga Gardu Induk 150 Kv Bantul, 2(2), 79–87.

Tobing, B. (2016). *Peralatan Tegangan Tinggi*. (A. Drajat & L. Simarmata, Eds.), *Peralatan Tegangan tinggi* (2nd ed., Vol. 7). Jakarta: Erlangga.

Hutauruk, T. (1989). *Gelombang Berjalan Dan Proteksi Surja*. Jakarta, Indonesia: Erlangga.