

ANALISA LIGHTNING ARRESTER AKIBAT UPRATING TRANSFORMATOR 150/20 kV DARI 30 MVA KE 60 MVA DI GARDU INDUK SANUR

Dewa Putu Yudha Prawira¹, I Gede Dyana Arjana², Cok Gede Indra Partha³

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Email : yudhadewaputu21@gmail.com¹,

dyanaarjana@unud.ac.id², cokindra@unud.ac.id³

Abstrak

Salah satu Transformator di Gardu Induk Sanur mengalami uprating dari kapasitas 30 MVA menjadi 60 MVA. Bertambahnya kapasitas transformator tidak diikuti dengan uprating peralatan pengaman surja atau lightning arrester, sehingga perlu adanya kajian untuk mengetahui hal tersebut. Metode teori pantulan berulang dengan diagram tangga digunakan untuk mengetahui lightning arrester pada saat memotong kecuraman gelombang tegangan surja. Uprating Transformator diketahui berpengaruh terhadap lightning arrester. Lightning arrester pada transformator 30 MVA memiliki waktu percik 9,18 μ det, arus pelepasan 3,35 kA, dan tegangan kecuraman gelombang tertinggi tiba pada transformator 666,8 kV, sedangkan lightning arrester pada transformator 60 MVA memiliki waktu percik 8,14 μ det, arus pelepasan 3,98 kA, dan tegangan kecuraman gelombang tertinggi tiba pada transformator 816,8 kV atau sebesar 8,9 % diatas TID transformator tetapi tidak melewati standar yang diizinkan sebesar 20 % dari TID, Lightning arrester tidak diganti karena masih mampu mengisolasi transformator 60 MVA pada jarak tetap antara lightning arrester dengan transformator

Kata kunci :Surja, uprating transformator, lightning arrester, Gardu Induk Sanur.

Abstract

One of Transformer in Sanur Substation have uprating capacity from 30 MVA to 60 MVA. The capacity of transformer increasing not followed by uprating surge protection equipment or lightning arresters, so there needs to be a study to find out about it. The method using a theory of repeated reflection with ladder diagram to find out the lightning arrester when it was cutting voltage surge. Uprating of transformer has known to affect lightning arresters. The Lightning arresters in 30 MVA transformer has a spark time of 9.18 μ det, discharge current is 3.35 kA, and the highest wave steepness voltage arrives in the transformer is 666.8 kV, while in the lightning arresters in 60 MVA transformer has a spark time of 8.14 μ det, discharge current is 3.98 kA, and the highest wave steepness voltage arrives in the transformer is 816.8 kV or 8.9% above the transformer BIL but not exceeding the standard allowed by 20% of TID. Lightning arresters are cannot be replaced because it is still able to isolate 60 MVA transformers in a fixed distance between lightning arresters and transformers

Keywords: Surge, transformer uprating, lightning arrester, Sanur Substation.

1. PENDAHULUAN

Gardu Induk Sanur berlokasi di daerah Sanur, terletak Jln Hangtuah Desa Sanur. Gardu Induk Sanur memegang peranan penting dalam mencukupi konsumsi energi listrik di wilayah sanur umumnya, serta sebagian wilayah kota Denpasar.

Gardu Induk Sanur mengalami uprating transformator, Transformator yang mengalami uprating yaitu Transformator 1 dari kapasitas 30 MVA menjadi 60 MVA dikarenakan dampak pertumbuhan beban yang semakin meningkat

untuk daerah Sanur dan untuk meningkatkan keandalan transformator dalam melayani kebutuhan beban listrik. Bertambahnya kapasitas transformator tidak diikuti dengan uprating peralatan pengaman surja atau lightning arrester, sehingga perlu adanya kajian mengenai lightning arrester sebagai pengaman transformator. Lightning Arrester yang digunakan pada transformator 30 MVA merupakan lightning arrester yang

sama untuk mengisolasi transformator

Kemampuan *lightning arrester* sebagai pengaman surja pada transformator kapasitas 30 MVA dan kapasitas 60 MVA dapat diketahui menggunakan perhitungan matematis dan teori pantulan berulang, setelah mengetahui kemampuan *lightning arrester* kemudian membandingkan hasilnya untuk mengetahui *lightning arrester* dalam mengisolasi transformator 60 MVA, serta mengetahui juga pengaruh uprating transformator terhadap nilai arus pelepasan *lightning arrester*, waktu percik *lightning arrester* dan tegangan tertinggi yang tiba pada transformator. Oleh karena itu, perlunya mengetahui kemampuan *lightning arrester* akibat adanya uprating transformator di Gardu Induk Sanur, agar peralatan terhindar dari kerusakan ketika terjadi gangguan surja.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pengertian arester

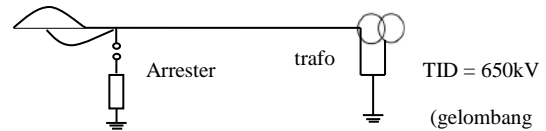
Lightning Arrester merupakan suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk melindungi peralatan listrik lain dari tegangan surja (baik surja hubung maupun surja petir). Surja mungkin merambat di konduktor pada saat peristiwa sebagai berikut [9] :

- Kegagalan sudut perlindungan petir, sehingga surja petir mengalir di dalam konduktor fasa.
- Backflashover akibat nilai pentanahan yang tinggi, baik di saluran transmisi ataupun di gardu induk.
- Proses *switching* DS atau CB (surja hubung).
- Gangguan fasa-tanah, ataupun fasa-fasa baik pada di gardu induk maupun pada saluran transmisi.

Pada saat terjadi surja, *travelling wave*/gelombang berjalan merambat pada penghantar sistem transmisi dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya. Surja dengan panjang gelombang dalam orde mikro detik berbahaya jika nilai tegangan surja yang tiba di peralatan lebih tinggi dari level TID (Tingkat Isolasi Dasar) peralatan. *Lightning Arrester* dipasang untuk memotong tegangan surja dengan cara me-

60 MVA. ngalirkan arus surja ke tanah dalam waktu yang sangat singkat, dimana pengaruh *follow current* tidak ikut serta diketanahkan [3],[6],[9].

2.2 Analisa kerja *lightning arrester*



Gambar 1. Skema Sederhana *Arrester*

Sambaran petir yang menyambar saluran dapat menyebabkan gelombang berjalan pada saluran kawat. Rambatan terdiri dari surja tegangan dan surja arus dengan kecepatan yang bergantung pada konstanta kawat saluran. Pada saat surja mencapai titik peralihan akan terjadi kenaikan pada gelombang tersebut sehingga terdapat beberapa perbedaan dengan gelombang asal [2].

Pada saat adanya tegangan lebih pada kawat fasa *arrester* sudah mulai bekerja pada saat tegangan yang masuk ke *arrester* sudah mencapai level 0,3 p.u sampai 0,5 p.u. Pada saat tegangan yang masuk ke *arrester* dan sudah mencapai angka 0,5 *arrester* harus sudah bekerja memotong tegangan lebih yang masuk dan langsung mengalirkannya ke tanah. Bila saat melewati angka 0,5 p.u *arrester* belum memotong tegangan lebih maka *arrester* di katakan gagal.

Besar impedansi surja untuk kawat udara = 400 – 600 ohm, dan untuk kabel = 50 – 60 ohm [2],[11].

2.3 Tegangan Sistem Maksimum

Tegangan sistem maksimum umumnya diambil harga 110% dari harga tegangan nominal sistem. Persamaannya dapat dilihat pada Persamaan 1 berikut [5]:

$$V_{max} = V_{nominal} \times 110\% \text{ (faktor toleransi)} \quad (1)$$

Keterangan:

V_{max} adalah Tegangan maksimum (V)

2.4 Koefisien Pentanahan *Arrester*

Sistem yang dibumikan secara langsung koefisien pembumiannya (η) adalah 0,8 (*arrester* 80%) [11].

2.5 Tegangan Pengenal *Lightning Arrester*

Tegangan pengenal *arrester* merupakan tegangan saat *arrester* dapat bekerja sesuai dengan karakteristiknya. *Arrester* tidak boleh bekerja saat tegangan maksimum sistem, tetapi mampu memutuskan arus susulan dari sistem dengan efektif. Persamaannya dapat dilihat pada Persamaan 2 berikut

$$E_a = (V_{\text{nominal}} \times \eta) \times 110 \% \quad (2)$$

Dimana,
 E_a adalah Tegangan pengenal *arrester*
 V kerja *arrester* adalah Tegangan system
 η adalah Koefisien Pentanahan *arrester*

2.6 Arus Pelepasan

Arus Pelepasan adalah besar puncak arus impuls 8/20 μ s menurut standar, dan digunakan untuk mengklasifikasikan *arrester*. Berikut persamaan untuk menentukan arus pelepasan *arrester* dengan Persamaan 3 [5].

$$I_a = \frac{2E - E_a}{Z + R} \quad (3)$$

$$R = \frac{\text{Tegangan Nominal}}{\text{Arus Nominal}} \quad (4)$$

Keterangan:

- I_a adalah arus pelepasan arester (A)
- E adalah tegangan surja yang datang (kV)
- E_a adalah tegangan terminal arester (kV)
- Z adalah Impedansi kawat transmisi (Ω)
- Impedansi surja (Surja Impedance)
- R adalah resistansi Saluran (Ω)

2.7 Pemilihan Tingkat Isolasi Dasar

Tingkat Isolasi Dasar (TID) menyatakan tingkat isolasi terhadap petir agar pemakaian *arrester* masih dalam koordinasi isolasi dan dapat memberikan hasil yang maksimal, sehingga perlu berpedoman pada beberapa asas. Pada Tabel 1 menunjukkan perbandingan TID dengan tegangan sistem maksimum

Tabel 1. Perbandingan TID dengan tegangan sistem

Unom	150 kV	275 kV	500 kV
Um	170	300	550
BIL	750	1050	1550

Nilai puncak surja petir yang masuk ke pembangkit datang dari saluran yang

dibatasi oleh TID saluran. Dengan mengingat variasi tegangan *flasover* dan probabilitas tembus isolator, maka 20% untuk faktor keamanannya, sehingga harga Faktor Perlindungan (FP) pada Persamaan 5 [9].

$$FP = 1,2 \times TID \quad (5)$$

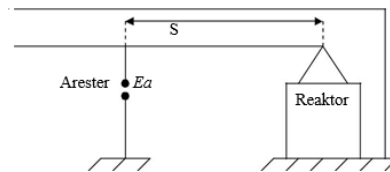
2.8 Teori Penghitungan Jarak Maksimum

2.8.1 Penggunaan Teori Pantulan Berulang untuk Menentukan Jarak Maksimum *Arrester* dan Peralatan

Jarak maksimum antara *arrester* dan peralatan atau panjang maksimum konduktor penghubung dapat ditentukan secara pendekatan dengan menggunakan teori pantulan berulang [11].

2.8.2 Jarak Maksimum *Arrester* dan Transformator yang dihubungkan dengan Saluran Udara

Skema jarak transformator dan *arrester* dengan jarak S dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Jarak *Lightning Arrester* dan Transformator dengan Jarak

Perlindungan yang baik diperoleh apabila *lightning arrester* ditempatkan sedekat mungkin dengan transformator tetapi dalam praktek *lightning arrester* itu harus ditempatkan dengan jarak (S) dari transformator yang dilindungi, sehingga jarak tersebut ditentukan agar perlindungan dapat berlangsung dengan baik. Apabila *lightning arrester* mulai memercik, maka tegangan pada jepitan *lightning arrester* persamaannya dapat dilihat pada Persamaan 6 berikut [11]:

$$E_a = At + A\left(t - \frac{S}{v}\right) = 2At - 2A\frac{S}{v} \quad (6)$$

Keterangan:

E_a adalah Tegangan percik arester (*arrester sparkover voltage*)

E_p adalah TID

A (de/dt) adalah kecuraman gelombang datang, dan dianggap konstan

S adalah Jarak antara *arrester* dengan trafo
 v adalah kecepatan merambat gelombang
 t adalah waktu

Apabila waktu percik *arrester* t_{so} , dihitung mulai gelombang itu pertama kali sampai pada *arrester*, maka dari persamaan diatas menjadi Persamaan 7 [11].

$$t_{so} = \frac{Ea + 2 AS/v}{2A} \quad (7)$$

setelah terjadi suatu percikan maka *arrester* berlaku sebagai jepitan hubung singkat, dan menghasilkan gelombang. Berikut pada Persamaan 8 [11].

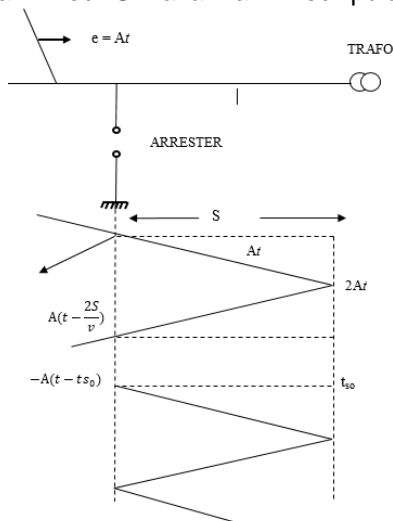
$$-A(t - t_{so}) \quad (8)$$

Gelombang negatif ini akan merambat ke transformator, dan setelah pantulan pertama pada transformator terjadi, jumlah tegangan pada transformator menjadi Persamaan 9 [11].

$$\begin{aligned} E_p &= 2At - 2A(t - t_{so}) = 2At_{so} \\ &= 2A \frac{Ea + 2AS/v}{2A} = Ea + 2AS/v \quad (9) \end{aligned}$$

Harga maksimum E_p adalah $2Ea$.

Apabila tegangan tembus isolator transformator = E_p , maka E_p harus lebih besar dari $(Ea + 2AS/v)$ agar diperoleh perlindungan yang baik. Untuk mengubah harga E_p cukup dengan mengubah S . Semakin kecil S maka makin kecil pula E_p .



Gambar 3. Simulasi Diagram Tangga Perlindungan *Lightning Arrester* terhadap Transformator

Hasil dari persamaan kemudian dianalisis dengan teori pantulan berulang untuk menentukan jarak maksimum arester dan peralatan. Analisis menggunakan diagram tangga untuk dapat mengikuti jejak gelombang itu pada waktu tertentu, dibawah ini dapat dilihat pada

Gambar 3. diagram tangga suatu gelombang surja yang melalui *lightning arrester* dan transformator.

Waktu Percik *Arrester* (t_{ao}):

$$t_{ao} = 8 + \Delta t \quad (10)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Analisis Data

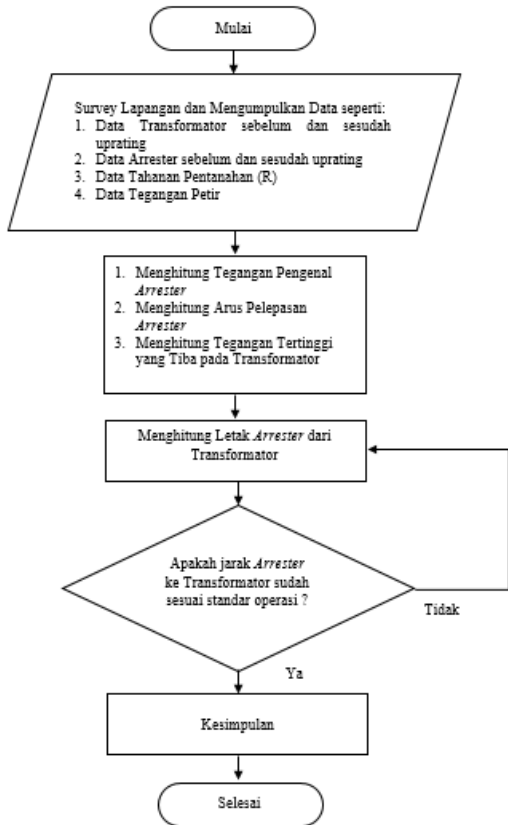
Penelitian ini dilakukan di PT. PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali APP Bali dan Gardu Induk Sanur. Proses penelitian ini dimulai pada tanggal 23 November 2017.

Tahapan menganalisis data yang digunakan sebagai berikut

1. Menentukan tegangan pengenalan *lightning arrester*.
2. Menentukan arus pelepasan *lightning arrester*
3. Menentukan Jarak *Lightning Arrester* ke Transformator dengan perhitungan koordinasi lokasi arester sesuai dengan teori Hutaauruk
4. Menentukan Karakteristik Lokasi *Lightning Arrester* dengan Tingkat Isolasi Peralatan yang Dilindungi Menggunakan Teori Pantulan Berulang
5. Menentukan waktu percik *arrester* dan Tegangan Tertinggi yang tiba pada Transformator
6. Mengetahui mampukah *Lightning Arrester* megisolir gangguan surja, sehingga transformator tetap aman

3.2 Alur Penelitian

Adapun alur tahapan penelitian yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4. dibawah ini:



Gambar 4. Alur Tahapan Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mengetahui pengaruh *uprating* transformator 150/20 kV terhadap *Lightning Arrester* di Gardu Induk dengan membandingkan ketika terpasang transformator kapasitas 30 MVA dengan yang sekarang transformator 60 MVA

4.1 Pemilihan *Lightning Arrester* sebagai Pelindung Petir pada Transformator 30 MVA

4.1.1 Menentukan Tegangan Sistem Maksimum

Menentukan Tegangan sistem maksimum dengan Persamaan 1:

$$\begin{aligned} V_m &= V_{nominal} \times 110\% \text{ (faktor toleransi)} \\ &= 150 \text{ kV} \times 1,1 \\ &= 165 \text{ kV} \end{aligned}$$

Berdasarkan standar PLN dan hasil penelitian yang dilakukan di lapangan, tegangan sistem maksimum dapat mencapai 170 kV. Sehingga digunakan tegangan sistem tertinggi sebesar 170 kV.

4.1.2 Menentukan Tegangan Pengenal *Arrester*

Tegangan pengenal ditentukan menggunakan Persamaan 2 sebagai berikut

$$\begin{aligned} E_a &= (150 \text{ kV} \times 0,8) \times 1,1 \\ &= 135 \text{ kV} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan menentukan Tegangan pengenal *lightning arrester* didapatkan tegangan sebesar 135 kV, tetapi *lightning arrester* dengan nilai tegangan pengenal 135 kV tidak ada, sehingga digunakan tegangan pengenal dengan nilai *arrester rating* 138 kV, dapat dilihat pada Tabel 2. sebagai berikut.

Tabel 2. Harga Maksimum Tegangan Lebih Gelombang Petir

Arrester rating kV rms	Front steepness FOW kV/μs	10 kA Light-and heavy-Duty and 5 kA, Serie A	
		Std. kV, peak	FOW.kV, peak
1	2	3	4
108	870	363	418
120	940	940	463
126	980	420	495
138	1.030	500	577
174	1.160	570	660
186	1.180	610	702
198	1.200	649	746

Sumber : PT PLN (Persero)

4.1.3 Menentukan tegangan percikan impuls maksimum

Menentukan besarnya nilai tegangan percikan impuls maksimal *lightning arrester* dengan tegangan operasi pada sistem 150 kV, maka dengan menggunakan Tabel 4.1 karakteristik *arrester* diperoleh tegangan percikan impuls maksimum sebesar 577 kV

4.1.4 Menentukan Arus Pelepasan *Lightning Arrester* pada Transformator 30 MVA

Arus pelepasan *Lightning Arrester* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 3.

Besar impedansi surja untuk kawat udara = 400 – 600 ohm, dan untuk kabel = 50 – 60 ohm (Hutauruk 1989:4).

- a. Arus Nominal Transformator 30 MVA

Arus nominal transformator 30 MVA pada gardu induk Sanur diperoleh data sebesar 866 A.

- b. Menentukan Hambatan Saluran Hambatan Saluran transformator 30 MVA pada gardu induk Sanur dapat ditentukan menggunakan Persamaan 4 sebagai berikut

$$\begin{aligned} R &= \frac{150 \text{ kV}}{866 \text{ A}} \\ &= 173 \Omega \end{aligned}$$

- c. Menentukan Arus Pelepasan Arus Pelepasan *Lightning Arrester* untuk mengisolasi transformator dengan kapasitas 30 MVA

diperoleh hasil melalui perhitungan menggunakan Persamaan 3 sebagai berikut:

$$I_a = \frac{2(1030) - 138}{400 + 173}$$

$$I_a = 3,35 \text{ kA}$$

4.1.5 Menentukan Arus Pelepasan Lightning Arrester pada Transformator 60 MVA

Arus pelepasan Lightning Arrester dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 3.

Besar impedansi surja untuk kawat udara = 400 – 600 ohm, dan untuk kabel = 50 – 60 ohm [11].

- Arus Nominal Transformator 60 MVA

Arus nominal transformator 60 MVA pada gardu induk Sanur diperoleh data sebesar 1732 A.

- Menentukan Hambatan Saluran Hambatan Saluran transformator 60 MVA pada gardu induk Sanur dapat ditentukan menggunakan Persamaan 4 sebagai berikut

$$R = \frac{150 \text{ kV}}{1732 \text{ A}} = 86 \Omega$$

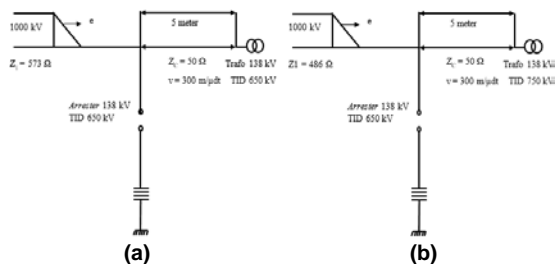
- Menentukan Arus Pelepasan Arus Pelepasan Lightning Arrester untuk mengisolasi transformator dengan kapasitas 60 MVA diperoleh hasil melalui perhitungan menggunakan Persamaan 3 sebagai berikut:

$$I_a = \frac{2(1030) - 138}{400 + 86}$$

$$I_a = 3,96 \text{ kA}$$

4.2 Karakteristik Lokasi Lightning Arrester dengan Tingkat Isolasi Peralatan yang Dilindungi Menggunakan Teori Pantulan Berulang

4.2.1 Karakteristik Lokasi Lightning Arrester dengan Tingkat Isolasi Transformator



Gambar 5.(a) Konstruksi Perlindungan Lightning Arrester terhadap Transformator 30 MVA, (b) Konstruksi Perlindungan Lightning Arrester terhadap Transformator 60 MVA

4.2.2 Perhitungan Jarak Lightning Arrester dengan Transformator

Data mengenai penelitian dapat dilihat pada tabel 3. Dan Tabel 4. berikut

Tabel 3. Data Eksisting Penelitian pada Transformator 30 MVA

Tegangan sistem (kV)	TID Transformator (kV)	TID Lightning Arrester (kV)	Tegangan Percik (kV)	Jarak Arrester ke Transformatotor (m)	Kecepatan Rambat Surja (m/μdet)
150	650	650	577	5	300

Tabel 4. Data Hasil Penelitian pada transformator 60 MVA

Tegangan sistem (kV)	TID Transformator (kV)	TID Lightning Arrester (kV)	Tegangan Percik (kV)	Jarak Arrester ke Transformatotor (m)	Kecepatan Rambat Surja (m/μdet)
150	750	650	577	5	300

Sumber: PT. PLN (Persero) Gardu Induk Sanur

Dari data yang diperoleh pada Tabel 3. dan 4. dapat ditentukan jarak maksimum antara Lightning Arrester terhadap Transformator, Diketahui:

Tegangan Percik Arrester

(Ea) adalah 577 kV

Tingkat Isolasi Dasar Arrester

(Ep) adalah 650 kV

Kecuraman Gelombang datang

(A) adalah 1000 dv/dt

Kecepatan Rambat Gelombang adalah 300 m/μdet

Surja datang dengan kecuraman gelombang 1000 dv/dt, sehingga dapat ditentukan jarak maksimum arrester menggunakan persamaan berikut

$$E_p = E_a + 2 \frac{A \cdot S}{v}$$

$$650 = 577 + 2 \frac{1000 \text{ S}}{300}$$

$$73 = 2 \frac{1000 \text{ S}}{300}$$

$$S = \frac{73}{6,66} = 10,44 \text{ meter}$$

Jadi jarak menurut perhitungan antara arrester dengan transformator adalah 10,44 meter, Pada kenyataannya di lapangan dipasang sejauh 5 meter, sehingga pemasangannya masih di bawah harga maksimum.

4.2.4 Analisis Menggunakan Teori Pantulan Berulang pada Lightning Arrester Sebagai Proteksi Surja untuk Transformator 30 MVA

1. $a = \frac{Z_c - Z_1}{Z_c + Z_1} = \frac{50 - 573}{50 + 573} = \frac{-523}{623} = -0,84$
2. $a' = \frac{2Z_c}{Z_c + Z_1} = \frac{2 \cdot 50}{50 + 573} = \frac{100}{623} = 0,16$
3. $b = \frac{Z_1 - Z_c}{Z_1 + Z_c} = \frac{573 - 50}{573 + 50} = \frac{523}{623} = 0,84$
4. $b' = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_c} = \frac{2 \cdot 573}{573 + 50} = \frac{1146}{623} = 1,84$

Keterangan:

a adalah pantulan gelombang yang datang dari kiri
 a' adalah pantulan gelombang yang datang dari kanan
 b adalah terusan gelombang yang datang dari kiri
 b' adalah terusan gelombang yang datang dari kanan

4.2.5 Waktu Percik Arrester (t_{ao}):

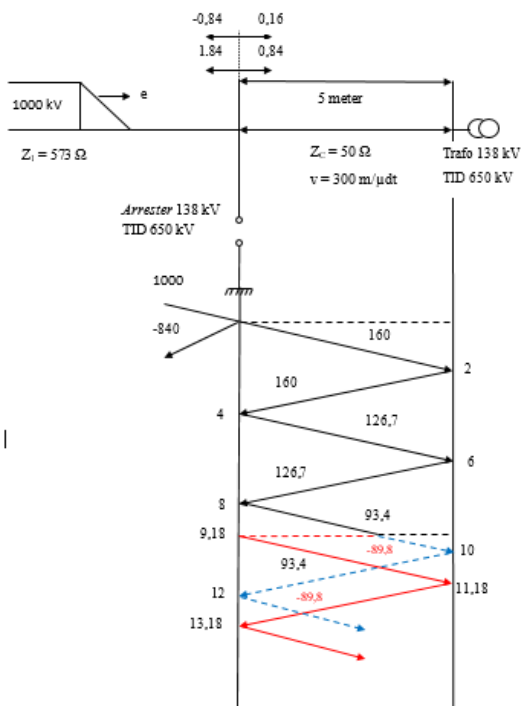
$$t_{ao} = 8 + \Delta t$$

Diperoleh t_{ao} sebagai berikut:

$$577 = 446,7 + 1,84 \times \frac{126,7}{2} \Delta t$$

$$130,3 \Delta t = 1,18$$

Jadi $t_{ao} = 8 + \Delta t = 8 + 1,18 = 9,18 \mu det$



Gambar 6. Diagram Tangga Kecuraman Gelombang Surja pada Lightning Arrester dan Transformator 30 MVA

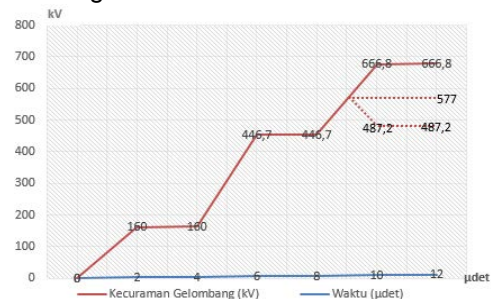
Pertama-tama harus menentukan waktu pada saat dimana lightning arrester mengalami percikan, maka tegangan yang timbul pada titik sambungan saluran udara.

- $t = 0 \mu det; e = 0$
- $t = 2 \mu det; e = 160 \text{ kV}$
- $t = 4 \mu det; e = 160 \text{ kV}$
- $t = 6 \mu det; e = 160 + 160 + 126,7 = 446,7 \text{ kV}$
- $t = 8 \mu det; e = 446,7 \text{ kV}$
- $t = 10 \mu det; e = 160 + 160 + 126,7 + 126,7 + 93,4 = 666,8 \text{ kV}$
- $t = 12 \mu det; e = 666,8 \text{ kV}$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Kecuraman Gelombang Berdasarkan Waktu

No.	Waktu (μdet)	Kecuraman Gelombang (kV)
1	0	0
2	2	160
3	4	160
4	6	446,7
5	8	446,7
6	10	666,8
7	12	666,8

Naiknya nilai tegangan pada lokasi arrester diberikan dalam Gambar 7. sesuai perhitungan waktu arrester di bawah ini:



Gambar 7. Grafik Pemotongan Kecuraman Gelombang pada Waktu Percik 9,18 μdet

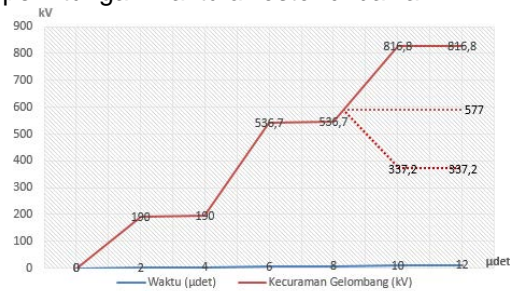
4.3 Analisis Menggunakan Teori Pantulan Berulang pada Lightning Arrester dalam mengisolasi Transformator 60 MVA

Analisis dengan Menggunakan cara yang sama ketika menganalisis lightning arrester dalam mengisolasi transformator 30 MVA pada sub bab 4.2.3 akan diperoleh hasil pada transformator 60 MVA sebagai berikut

Tabel 6. Hasil Perhitungan Kecuraman Gelombang Berdasarkan Waktu

No.	Waktu (μdet)	Kecuraman Gelombang (kV)
1	0	0
2	2	190
3	4	190
4	6	536,7
5	8	536,7
6	10	816,8
7	12	816,8

Naiknya nilai tegangan pada lokasi *arrester* diberikan dalam Gambar 8. Sesuai perhitungan waktu *arrester* di bawah ini:



Gambar 8. Grafik Pemotongan Kecuraman Gelombang pada Waktu Percik 8,14 μdet

Berikut adalah hasil perhitungan faktor perlindungan pada transformator 30 MVA dengan menggunakan Persamaan 5.

$$FP = 1,2 \times TID$$

$$FP = 1,2 \times 650$$

$$= 780 \text{ kV}$$

sehingga untuk tegangan kecuraman gelombang yang tertinggi tiba pada transformator sebesar 666,8 kV belum melewati batas toleransi TID transformator sebesar 780 kV.

TID transformator kapasitas 60 MVA adalah sebesar 750 kV, sedangkan tegangan yang timbul puncaknya sampai 816,8 kV pada 10 μdet, maka *lightning arrester* masih mampu melindungi transformator dengan standar maksimal 20 % dari TID. Berikut adalah hasil perhitungan faktor perlindungan pada transformator 60 MVA.

$$FP = 1,2 \times TID$$

$$FP = 1,2 \times 750$$

$$= 900 \text{ kV}$$

sehingga untuk tegangan kecuraman gelombang yang tertinggi tiba pada transformator sebesar 816,8 kV belum melewati batas toleransi TID transformator sebesar 900 kV.

Analisis pengaruh dari adanya *uprating* Transformator 150/20 kV terhadap *Lightning Arrester* di Gardu Induk Sanur

dapat dilakukan setelah melakukan perhitungan secara matematis pada pembahasan diatas. Hasil dari perhitungan yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 7. sebagai berikut.

Tabel 7. Data Perbandingan Hasil Perhitungan

No	Data Peralatan	Transformator	
		30 MVA	60 MVA
1	Jarak LA ke Transformator (m)	5	5
2	TID Transformator (kV)	650	750
3	TID <i>Lightning Arrester</i> (kV)	650	650
4	Tegangan Percik <i>Lightning Arrester</i> (kV)	577	577
5	Tegangan Tertinggi Tiba di Trafo	666,8	816,8
6	Arus Pelepasan (kA)	3,35	3,98
7	Waktu Percik <i>Lightning Arrester</i> (μdet)	9,18	8,14

5 KESIMPULAN

Lightning arrester pada transformator 30 MVA memiliki waktu percik selama 9,18 μdet, arus pelepasan sebesar 3,35 kA, dan tegangan kecuraman gelombang tertinggi tiba pada transformator sebesar 666,8 kV, sedangkan pada *lightning arrester* transformator 60 MVA memiliki waktu percik selama 8,14 μdet, arus pelepasan sebesar 3,98 kA, dan tegangan kecuraman gelombang tertinggi tiba pada transformator sebesar 816,8 kV. Jadi berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa semakin besar kapasitas transformator, maka waktu percik *arresternya* semakin cepat untuk memotong tegangan surja yang merambat. *Uprating* transformator memiliki pengaruh juga terhadap arus pelepasan *arrester*. Meskipun nilai arus pelepasan *arrester* mengalami kenaikan, akan tetapi *arrester* masih baik dalam mengisolasi transformator dari surja, karena nilai arus pelepasan pada *arrester* yang terpasang sebesar 10 kA. *Uprating* transformator memiliki pengaruh juga terhadap tegangan kecuraman gelombang tertinggi tiba pada transformator, akan tetapi *lightning arrester* masih mampu melindungi transformator dengan standar maksimal 20 % dari TID. *Uprating* Transformator memiliki pengaruh terhadap *lightning arrester* di Gardu Induk Sanur, tetapi faktor perlindungannya masih dibawah standar maksimum yang diizinkan dan *Lightning Arrester* tidak perlu diganti sehingga dapat menghemat biaya., karena *arrester* tersebut masih mampu untuk mengisolasi transformator 60 MVA.

6 **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] IEEE/IEC Lightning Arresters Class 4 Ratings. IEC60099-4 CLASS 4 IEEE C62.11. *IEEE/IEC Lightning Arrester, Arresters for AC and DC Application*. GE Digital Energy. 2015.
- [2] Bandri, Sepannur. Analisa Gangguan Petir Sutt 150 kV Dengan Memperhatikan Tegangan Pada Lightning Arrester Dan Trafo. Tugas Akhir. Padang: Institut Teknologi Padang. 2015.
- [3] Hidayatulloh, N. Kemampuan Arester. Untuk Pengaman Tranformator Pada Gardu Induk Sronдол 150 kV. Tugas Akhir. Semarang: Universitas Negeri. 2009.
- [4] Hinrichsen, Volker. *Metal-Oxide Surge Arresters in High-Voltage Power Systems*. Germany: Siemens. 2012.
- [5] Kelompok Bidang Transmisi Standardisasi. *Spesifikasi Arrester Untuk Jaringan Transmisi 66 kV, 150 kV, 275 kV DAN 500 kV*. Jakarta Selatan: PT PLN (Persero). 2014.
- [6] Kholis, Nur. Unjuk Kerja Arester Type Hlmn 136 Untuk Pengamanan Reaktor 7r1 Pada Gardu Induk 500 kV Di Upt Semarang. Tugas Akhir. Semarang: Universitas Diponegoro. 2006.
- [7] Parera, L. M. Analisis Perlindungan Transformator Distribusi Yang Efektif Terhadap Surja Petir Tugas Akhir. Ambon: Politeknik Negri Ambon.
- [8] Rezon Arif B. *Lightning Arrester*. Semarang: Universitas Diponegoro. 2010.
- [9] Rusdjaja, Tatang. *Buku Pedoman Pemeliharaan Lightning Arrester (LA)*. Jakarta Selatan: PT PLN (Persero). 2010.
- [10] Team O & M. *Operasi dan Memelihara Peralatan*. Jawa Barat dan Jakarta: PLN Pembangkitan. 1981
- [11] T. S. Hutauruk. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Jakarta: Erlangga. 1991.