

Variasi Nilai Tegangan Percik *Arrester* Akibat Pengaruh Kapasitas Trafo Daya dan Jarak *Arrester*

Rahmad Septiaji¹, Wiwin A Oktaviani^{2*}, Taufik Barlian³

Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Palembang¹⁻³

¹ rahmatseptiaji@gmail.com

^{2*} wiwin_oktaviani@um-palembang.ac.id

³ taufikbar018@gmail.com

Intisari — Kemampuan setiap gardu induk untuk menahan petir dan tegangan lebih mempengaruhi distribusi tenaga sistem daya. Untuk membuat operasi terbaik dari gardu induk, perlu dipasang *Arrester* yang digunakan untuk melindungi trafo di setiap gardu induk dari tegangan lebih yang disebabkan oleh surja petir. Pada penelitian ini pengaruh kapasitas terhadap jarak penempatan *Arrester* dibahas trafo 30 MVA dan 60 MVA. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kapasitas trafo daya dari keempat Gardu Induk terhadap nilai tegangan percik *arrester* serta memperoleh teknik pemasangan *Arrester* yang optimal pada setiap Gardu Induk menggunakan metode optimasi Lagrange. Metode optimasi Lagrange digunakan untuk menentukan jarak optimal *Arrester* dengan trafo daya. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada trafo berkapasitas 60 MVA, tegangan percik *Arrester* terjadi pada $t = 20$ mikrodetik dengan penurunan tegangan sebesar 390,49 kV. Sedangkan pada trafo berkapasitas 30 MVA waktu percik *Arrester* pada $t = 13,9$ mikrodetik dengan penurunan tegangan sebesar 266,3 kV. Hal ini menunjukkan kapasitas trafo yang mempengaruhi besaran tegangan percik *Arrester* dan waktu percikannya. Dengan demikian semakin kecil kapasitas trafo maka waktu percik *Arrester* akan semakin kecil juga dengan besar penurunan tegangannya.
Kata kunci — *Arrester*, Matlab, Tegangan percik, Transformator, Metode Lagrange.

Abstract — The ability of each substation to withstand lightning and overvoltage affects the power distribution of the power system. In order to make the best operation of the substations, it is necessary to install *Arresters* which are used to protect the transformers in each substation from overvoltage caused by lightning surges. In this study, the effect of capacity on the placement distance of the *arrester* is discussed with 30 MVA and 60 MVA transformers. The purpose of this study was to determine the effect of the power transformer capacity of the four substations on the value of the *arrester* spark voltage and to obtain the optimal *arrester* installation technique at each substation using the Lagrange optimization method. Lagrange optimization method is used to determine the optimal distance between the *arrester* and the power transformer. The calculation results show that in a transformer with a capacity of 60 MVA, the *Arrester* spark voltage occurs at $t = 20$ microseconds with a voltage drop of 390.49 kV. Meanwhile, in a transformer with a capacity of 30 MVA, the *Arrester* spark time is at $t = 13.9$ microseconds with a voltage drop of 266.3 kV. This shows the capacity of the transformer that affects the magnitude of the *Arrester's* spark voltage and the spark time. Thus, the smaller the transformer capacity, the smaller the *arrester* spark time with the large voltage drop

Keywords — *Arrester*, Matlab, Sparkover Voltage, Transformator, Lagrange Methode

I. PENDAHULUAN

PT. PLN (Persero) Sumatera Selatan merupakan bagian dari unit kerja yang bertugas menyediakan pelayanan tenaga listrik di Kota Palembang khususnya Sumatera bagian Selatan. Sebagai sumber kebutuhan energi listrik menjadi semakin penting mengingat keterbatasan sumber energi primer, di samping upaya difersitas sumber energi.

Gardu Induk adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai pengubah tegangan dari 150 kV menjadi 20 kV atau sebaliknya. Sistem penyaluran tenaga listrik pasti akan mengalami gangguan, terutama gangguan alam. Antara lain yaitu gangguan pada saluran transmisi yang disebabkan oleh petir dan gangguan lainnya. Oleh sebab itu dibutuhkan suatu sistem proteksi untuk mengurangi dampak dari gangguan tersebut. Salah satu alat proteksi tersebut adalah *arrester*, yang dirancang untuk melindungi peralatan listrik gardu induk dari pengaruh tegangan surja, antara lain hubung singkat dan surja petir.

Penekanan sangat penting untuk memperhatikan kesesuaian *arrester* dengan persyaratan sistem sehingga *arrester* memenuhi fungsinya. Lokasi atau jarak *arrester* dalam kaitannya dengan objek yang dilindungi (transformator daya) akan mempengaruhi kualitas proteksinya. Akan tetapi perlu diingat bahwa tegangan yang dirasakan peralatan akan semakin meningkat seiring bertambahnya jarak antara arester dengan peralatan [1] yang berarti semakin besar pula tegangan pelepasan dari arrester [2].

Sambaran petir akan menghasilkan tegangan lonjakan yang lebih tinggi melebihi kapasitas isolasi transformator, mengakibatkan kerusakan isolasi yang fatal.

Penelitian yang dilakukan [3] menunjukkan semakin lama waktu rambatan gelombang maka kecuraman gelombang datang juga akan bertambah, Hal ini akan menambah nilai kenaikan tegangan pada trafo. Jenis arrester yang digunakan juga turut mempengaruhi nilai tegangan puncak arrester dimana arrester jenis Zinc Oxide memiliki

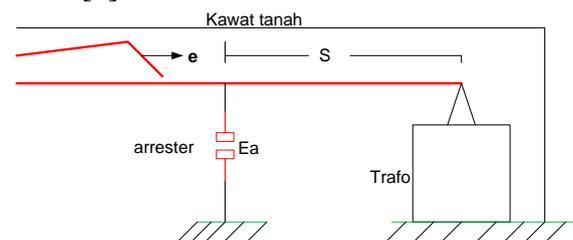
performan yang lebih baik bila dibandingkan arrester jenis Silicone Carbide [4], [5], [6]. Penempatan arrester dengan konfigurasi saluran yang berbeda yang dilakukan Nugroho [7] menunjukkan bahwa penempatan arrester dengan trafo daya membutuhkan jarak efektif yang lebih jauh pada konfigurasi saluran kawat-kabel dibandingkan dengan konfigurasi saluran kawat-kawat.

Hal lain yang perlu diperhatikan dalam menentukan jarak arrester dengan trafo daya adalah perubahan waktu muka petir yang menyebabkan perbedaan perubahan tegangan dimana waktu muka petir yang lebih kecil akan menghasilkan tegangan yang lebih besar dibandingkan tegangan pada waktu muka petir yang lebih besar. Hal ini disebabkan waktu untuk mencapai puncak akan semakin cepat dengan semakin kecil waktu muka petir [8].

II. METODE PENELITIAN

A. Penempatan Jarak Maksimum Arrester

Arrester ditempatkan pada gardu induk terletak di bay penghantar dan bay trafo gardu induk. Tidak semua lokasi gardu induk berada pada jarak yang sama dari transformator daya. Pada bay penghantar, jarak *Arrester* terhadap transformator biasanya bervariasi dari 20-30 meter [9].



Gbr.1 Jarak *Arrester* dan *Transformator*
Sumber [10]

Ketika *Arrester* dihubungkan melalui saluran udara ke perangkat yang diproteksi itu, untuk menentukan jarak optimum antara *Arrester* dan trafo :

$$E_p = \frac{E_a + 2 A.s}{v} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

E_p :Tegangan rated pada alat yang di proteksi (kV)

E :Tegangan surja/percik *Arrester* (kV)

A :Kemiringan gelombang masuk (kV/ μ s)

S :Jarak *Arrester* ke perangkat yang diproteksi (m)

v :Kecepatan rambat gelombang pulsa (m/ μ s)

Arrester akan terlindung dengan baik jika ditempatkan sedekat mungkin dengan terminal trafo. Namun dalam penerapannya, *Arrester* sering ditempatkan pada jarak S dari trafo yang dilindungi. Oleh karena itu perlu ditentukan jarak maksimum agar proteksi lebih efektif.

B. Penentuan Jarak Maksimum Menggunakan Metode Pengali Lagrange

Inti dari metode ini adalah pembuatan metode pengali *Lagrange*, yaitu fungsi baru yang merupakan jumlah dari fungsi tujuan dengan produk dari fungsi kendala dan pengali *Lagrange*. Selanjutnya, fungsi yang dihasilkan oleh perubahan fungsi tersebut disebut fungsi *Lagrange*. Jarak optimal *arrester* di Gardu Induk menurut metode *Lagrange* [11]:

$$S = \frac{-1/2.(E_a - E_p).V}{A} \dots\dots\dots(2)$$

Ketika $E_a = E_p$
Akan diperoleh nilai optimal peletakkan *Arrester* :

$$S = \frac{-1/2. (-E_p).V}{A} \dots\dots\dots(3)$$

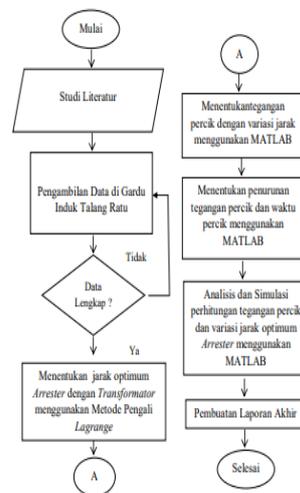
Ketika $E_a = 0$
Akan diperoleh nilai optimal peletakkan *Arrester* :

$$S = \frac{-1/2. (-E_p).V}{A} \dots\dots\dots(4)$$

C. Diagram Alir Penelitian

Untuk mengetahui jarak optimum antara *arrester* dan transformator daya pada penelitian ini, metode pengali *lagrange*

digunakan. Hal ini menunjukkan kapasitas trafo yang mempengaruhi besaran tegangan percik *Arrester* dan waktu perciknya. Berikut diagram alur penelitian



Gbr.2 Diagram alur penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data

Penelitian ini menggunakan data dari 4 Gardu Induk yaitu Gardu Induk Talang Ratu, Gardu Induk Keramasan, Gardu Induk Simpang Tiga Indralaya, dan Gardu Induk Boombaru.

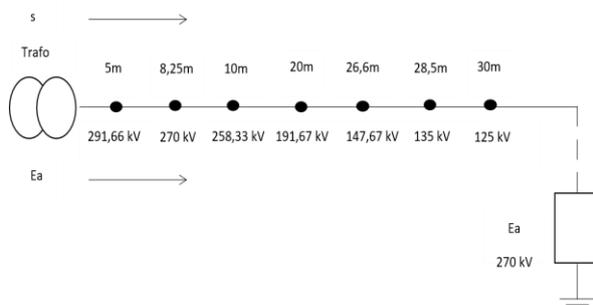
Tabel 1. Parameter-parameter peralatan dan tegangan induksi Gardu Induk

| Parameter Tegangan Induksi Petir | GI Talang Ratu | GI Keramasan | GI Indralaya | GI Boombaru |
|----------------------------------|----------------|--------------|--------------|-------------|
| Kecuraman gelombang datang | 1000 kV | 1000 kV | 1000 kV | 1000 kV |
| Kecepatan arus sambaran balik | 300 μ s | 300 μ s | 280 μ s | 300 μ s |
| Ketinggian kawat diatas tanah | 19 m | 30 m | 30 m | 19 m |

| Peralatan | GI Talang Ratu | GI Keramasan | GI Indralaya | GI Boombaru |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Tegangan pelepasan <i>Arrester</i> | 270 kV | 460 kV | 460 kV | 270 kV |
| Kapasitas trafo | 30 MVA | 60 MVA | 60 MVA | 30 MVA |
| BIL trafo | 325 kV | 650 kV | 650 kV | 325 kV |
| Luas penampang konduktor | 240 mm ² | 305 mm ² | 305 mm ² | 240 mm ² |
| Jari-jari konduktor | 8,72 mm | 9,85 mm | 9,86 mm | 8,72 mm |

B. Penentuan Jarak Maksimum Arrester

Dalam penentuan jarak maksimum *arrester* perlu diketahui tegangan percik *arrester*, *basic insulation transformer* (BIL) transformator daya, muka kecuraman gelombang dan kecepatan merambat gelombang, maka dapat kita hitung variasi jarak optimal *Arrester* dengan transformator daya menggunakan metode pengali lagrange adalah sebagai berikut :

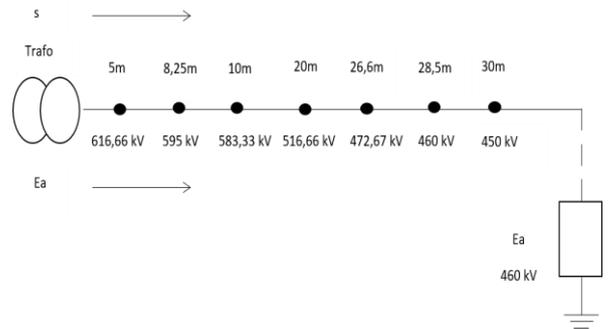


Gbr.3 Korelasi variasi jarak Arrester Gardu Induk Talang Ratu

Berikut adalah hasil perhitungan jarak maksimum Gardu Induk talang Ratu

$$\begin{aligned}
 S &= - (Ea-Ep) . \lambda \\
 S &= - (270 - 325) . 0,15 \\
 &= - (-55) . 0,15 \\
 &= 55 . 0,15 \\
 &= 8,25 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Jadi untuk jarak maksimum 8,35 meter maka tegangan percik yang dihasilkan sebesar 270 kV

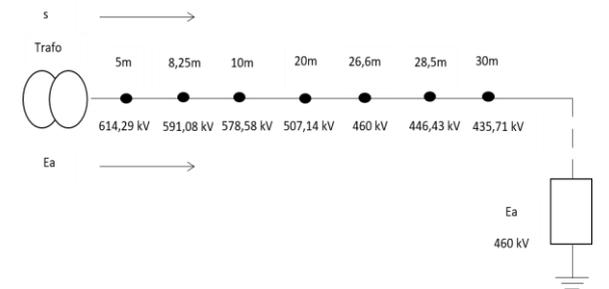


Gbr.4 Korelasi variasi jarak Arrester Gardu Induk Keramasan

Berikut adalah hasil perhitungan jarak maksimum Gardu Induk Keramasan

$$\begin{aligned}
 S &= - (Ea-Ep) . \lambda \\
 S &= - (460 - 650) . 0,15 \\
 &= - (-190) . 0,15 \\
 &= 190 . 0,15 \\
 &= 28,5 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Jadi untuk jarak maksimum 28,5 meter maka tegangan percik yang dihasilkan sebesar 460 kV

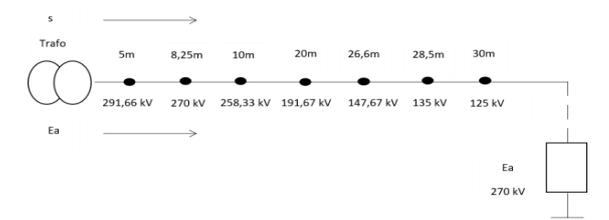


Gbr.5 Korelasi jarak Arrester Gardu Induk Simpang Tiga Indralaya

Berikut adalah hasil perhitungan jarak maksimum Gardu Induk Simpang Tiga Indralaya

$$\begin{aligned}
 S &= - (Ea-Ep) . \lambda \\
 S &= - (460 - 650) . 0,14 \\
 &= - (-190) . 0,14 \\
 &= 190 . 0,14 \\
 &= 26,6 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Jadi untuk jarak maksimum 26,6 meter maka tegangan percik yang dihasilkan sebesar 460 kV.



Gbr. 6 Korelasi variasi jarak Arretser Gardu Induk Boom Baru

Berikut adalah hasil perhitungan jarak maksimum Gardu Induk Boom Baru

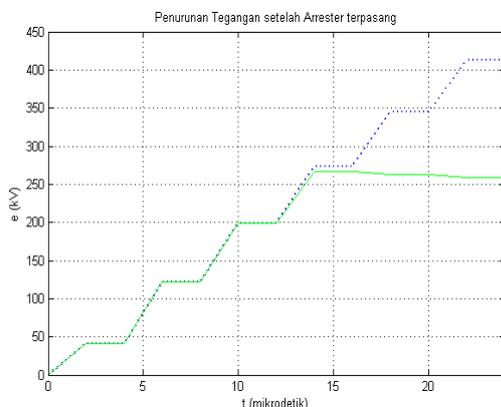
$$\begin{aligned} S &= - (E_a - E_p) \cdot \lambda \\ S &= - (270 - 325) \cdot 0,15 \\ &= - (-55) \cdot 0,15 \\ &= 55 \cdot 0,15 \\ &= 8,25 \text{ meter} \end{aligned}$$

Jadi untuk jarak maksimum 8,35 meter maka tegangan percik yang dihasilkan sebesar 270 kV.

Dari keempat gambar diatas dapat disimpulkan bahwa semakin dekat jarak trafo dengan *Arrester* maka semakin besar tegangan percik yang dihasilkan, akan tetapi tegangan percik yang dihasilkan tidak akan melebihi BIL trafo daya tersebut sesuai dengan (SPLN T5.007, 2014). Jadi semakin dekat jarak *arrester* dengan trafo maka *arrester* akan semakin optimal melindungi trafo akan tetapi peralatan lainnya tidak ikut terlindungi. Karenanya perlu dihitung jarak optimum menggunakan metode optimasi seperti Pengali *Lagrange* agar jarak yang didapatkan jarak optimum antara *arrester* dengan trafo. Dengan jarak yang optimum diharapkan *arrester* akan dapat memberikan perlindungan pada peralatan lain di gardu Induk.

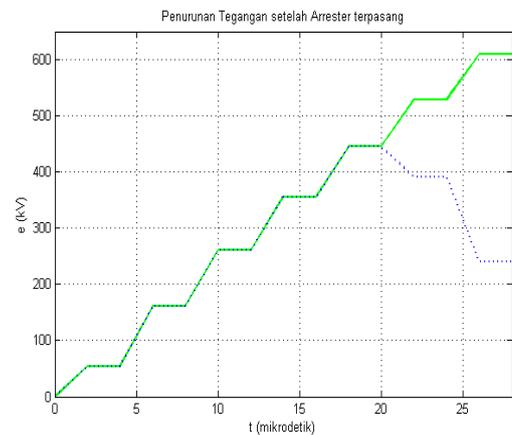
C. Grafik tegangan percik untuk menentukan penurunan tegangan dan waktu percik

Untuk menentukan waktu percik *Arrester* (t_{so}), hal yang dilakukan adalah melakukan perhitungan tegangan pada titik sambungan kawat-kabel udara saat kondisi *Arrester* belum ditempatkan yaitu sebagai berikut:



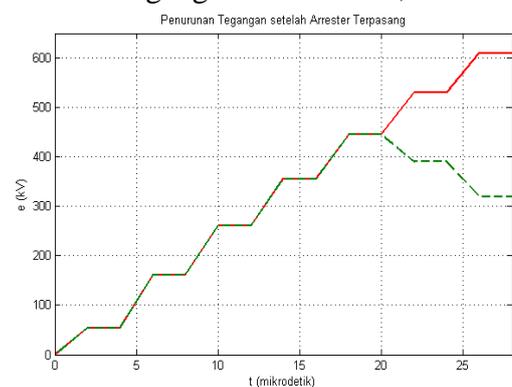
Gbr.7 Grafik penurunan tegangan Gardu Induk Talang Ratu

Pada gambar grafik ini penurunan tegangan ditunjukkan pada garis yang berwarna hijau, sedangkan untuk kenaikan tegangan jika tidak terpasang *Arrester* di tunjukkan pada garis berwarna biru. Jadi tegangan percik *Arrester* terjadi pada $t = 13,9$ mikrodetik dengan penurunan tegangan sebesar 266,3 kV.



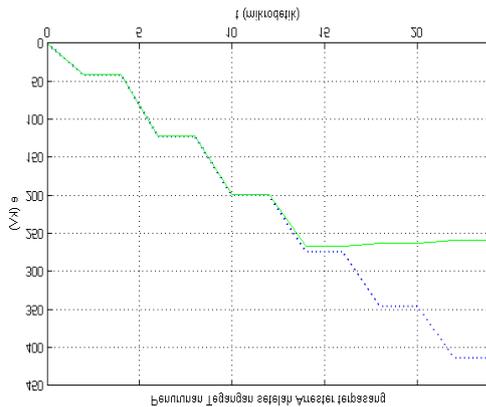
Gbr.8 Grafik penurunan tegangan Gardu Induk Keramasan

Pada Gambar 8 penurunan tegangan ditunjukkan pada garis yang berwarna biru, sedangkan untuk kenaikan tegangan jika tidak terpasang *Arrester* di tunjukkan pada garis berwarna hijau. Jadi tegangan percik *Arrester* terjadi pada $t = 20$ mikrodetik dengan penurunan tegangan sebesar 390,49 kV.



Gbr.9 Grafik penurunan tegangan Gardu Induk Simpang Tiga Indralaya

Pada Gambar 9 ini penurunan tegangan ditunjukkan pada garis yang berwarna merah, sedangkan untuk kenaikan tegangan jika tidak terpasang *Arrester* di tunjukkan pada garis berwarna hijau. Jadi tegangan percik *Arrester* terjadi pada $t = 20$ mikrodetik dengan penurunan tegangan sebesar 390,49 kV.



Gbr.10 Grafik penurunan tegangan Gardu Induk Boom Baru

Pada Gambar 10 penurunan tegangan ditunjukkan pada garis yang berwarna hijau, sedangkan untuk kenaikan tegangan jika tidak terpasang *Arrester* di tunjukkan pada garis berwarna biru. Jadi tegangan percik *Arrester* terjadi pada $t = 13,9$ mikrodetik dengan penurunan tegangan sebesar 266,3 kV. Dari keempat grafik diatas dapat disimpulkan pada setiap perhitungan Gardu Induk di atas bahwa semakin besar nilai waktu percik *Arrester* yang dihasilkan maka kecepatan memotong tegangan surja akan semakin lama dan trafo serta peralatan yang lainnya akan mengalami keterlambatan untuk dilindungi. Sedangkan jika nilai waktu percik *Arrester* yang dihasilkan kecil, maka kecepatan memotong tegangan surja akan semakin cepat dan trafo serta peralatan disekitarnya akan semakin terlindungi.

Dan pada pembahasan ini, kapasitas trafo mempengaruhi dalam nilai waktu percik *Arrester* yang dihasilkan. Semakin kecil kapasitas trafo maka nilai waktu percik *Arrester* akan menghasilkan waktu yang kecil atau semakin cepat untuk memotong tegangan surja dalam hal ini Gardu Induk Talang Ratu dan Boombaru yang akan lebih cepat dalam memotong tegangan surja dikarenakan kapasitas trafo yang kecil daripada Gardu Induk Indralaya dan Keramasan yaitu 30 MV A.

D. Perbandingan Hasil Perhitungan Antar Gardu Induk

Dari hasil diatas maka dapat dihasilkan perbandingan data dari setiap Gardu Induk yang berkapasitas 30 MVA dan 60 MVA pada Tabel 2 berikut :

Tabel 2. Perbandingan Hasil Perhitungan

| No. | Gardu Induk | S | Δt | t_{30} | Kapasitas Trafo | E_a | e (saat penurunan) |
|-----|------------------------|--------|--------------|--------------|-----------------|--------|----------------------|
| 1 | Talang Ratu | 8,25 m | 0,2 μs | 13,9 μs | 30 MVA | 270 kV | 266,3 kV |
| 2 | Keramasan | 28,5 m | 1,65 μs | 20 μs | 60 MVA | 460 kV | 390 kV |
| 3 | Simpang Tiga Indralaya | 26,6 m | 1,47 μs | 20 μs | 60 MVA | 460 kV | 390 kV |
| 4 | Boom Baru | 8,25 m | 0,2 μs | 13,9 μs | 30 MVA | 270 kV | 266,3 kV |

IV. KESIMPULAN

1. Metode Penggali *Lagrange* digunakan pada penelitian ini untuk menentukan jarak optimum *Arrester* terhadap Trafo Daya dari berbagai macam variasi jarak sehingga dari jarak optimum tersebut didapat nilai tegangan percik yang minimum.
2. Meskipun nilai BIL (*Basic Insulation Level*) dan kapsitas trafo daya sama, namun jarak optimum *arrester* dan trafo daya yang didapatkan berbeda, seperti yang terlihat pada GI Keramasan dan GI Indralaya. Dengan nilai BIL 650 kV untuk kapsitas trafo 60 MVA, jarak optimum untuk GI Keramasan 28,5 m dan GI Indralaya 26,6 m. Terdapat selisih 1,9 m. Hal ini dikarenakan perbedaan kecepatan arus sambaran balik petir.
3. Dengan semakin kecilnya kapasitas trafo maka waktu percik *Arrester* akan semakin cepat. Terdapat selisih waktu percik antara trafo berkapasitas 30 MVA dengan trafo berkapasitas 60 MVA sebesar 6,1 mikrodetik. Kecepatan *arrester* memotong tegangan surja untuk trafo berkapasitas 30 MVA 0,7 kali lebih cepat daripada waktu potong *arrester* untuk trafo berkapasitas 60 MVA.

REFERENSI

- [1] A. Wiranata and A. Wiranata, "Analisis Pengaruh Jarak Letak Arester Terhadap Perlindungan Pesawat TelePON DARI SAMBARAN PETIR," Universitas Gadjah Mada, 2013. Accessed: Oct. 19, 2021. [Online]. Available: <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/66542>
- [2] I. Hajar and E. Rahman, "Kajian Pemasangan Lightning Arrester Pada Sisi Hv Transformator Daya Unit Satu Gardu Induk Teluk Betung," *Energi Kelistrikan*, vol. 9, no. 2, pp. 168–179, Nov. 2018, doi: 10.33322/energi.v9i2.42.
- [3] R. Agustian, "Analisa Penempatan Jarak Arrester Sebagai Proteksi Transformator Terhadap Tegangan Lebih Surja Petir," *Epsil. J. Electr. Eng. Inf. Technol.*, vol. 16, no. 1, Art. no. 1, Apr. 2018.
- [4] K. M. SARI and D. Amri, "Simulasi Jarak Arrester Sebagai Proteksi Transformator Menggunakan Software Atp (Alternative Transients Program) Pada GARDU INDUK SEDUDUK PUTIH," undergraduate, Sriwijaya University, 2019. Accessed: Oct. 19, 2021. [Online]. Available: <https://repository.unsri.ac.id/26159/>
- [5] R. D. Puriyanto, "Perbandingan Tegangan Residu Arester SiC dan ZnO Terhadap Variasi Front Time," *J. Ilm. Tek. Elektro Komput. Dan Inform.*, vol. 2, no. 2, p. 46, Dec. 2016, doi: 10.26555/jiteki.v2i2.5347.
- [6] M. Y. Acika, T. Haryono, and S. Suharyanto, "Perbandingan Watak Perlindungan Arester Zno Dan Sic Pada Peralatan Listrik Menurut Lokasi Penempatannya," *J. Penelit. Tek. Elektro Dan Teknol. Inf.*, vol. 1, no. 2, Art. no. 2, 2014, Accessed: Oct. 19, 2021. [Online]. Available: <http://ejpteti.jteti.ugm.ac.id/index.php/JPTE TI/article/view/19>
- [7] I. Nugroho, S. Handoko, and K. Karnoto, "Optimasi Penempatan Arrester Terhadap Tegangan Lebih Transien Pada Transformator Daya Dengan Metode Algoritma Genetika," *Transm. J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 16, no. 4, Art. no. 4, Nov. 2014, doi: 10.12777/transmisi.16.4.206-213.
- [8] A. Sintianingrum, Y. Martin, and E. Komalasari, "Simulasi Tegangan Lebih Akibat Sambaran Petir terhadap Penentuan Jarak Maksimum untuk Perlindungan Peralatan pada Gardu Induk," *Electrician*, vol. 10, no. 1, Art. no. 1, Jan. 2016, doi: 10.23960/elc.v10n1.194.
- [9] G. T. Timotius, "Optimasi Jarak Maksimum Penempatan Lightning Arrester Sebagai Proteksi Transformator Pada Gardu Induk," *J. Ilm. "DUNIA ILMU"*, vol. 3, no. 1, pp. 41–49, 2017.
- [10] T. S. Hutauruk, *Gelombang berjalan dan proteksi surya*. 1991. Accessed: Oct. 19, 2021. [Online]. Available: <https://opac.perpusnas.go.id/DetailOpac.aspx?id=32063>
- [11] R. D. Nurhaidi, "Penentuan Letak Optimum Arrester Pada Gardu Induk (Gi) 150 KV Siantan Menggunakan Metode Optimasi," *J. Tek. Eletro Univ. Tanjungpura*, 2015, Accessed: Oct. 19, 2021. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/reader/293650620>.