

Analisis Jarak Penempatan *Arrester* Sebagai Pengaman Transformator Daya Dari Gangguan Surja Petir

Aryatul Mahmudah⁽¹⁾, Liliana⁽²⁾

Program Studi Teknik Elektro
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Panam, Jl. HR. Soebrantas No.Km. 15, RW.15, Simpang Baru, Kota Pekanbaru,
Riau 28293, Indonesia

Email: ¹11850510435@students.uin-suska.ac.id, ²liliana@uin-suska.ac.id

Tersedia Online di

<http://www.jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant>

Sejarah Artikel

Diterima pada 11 Januari 2023
Disetujui pada 19 Februari 2023
Dipublikasikan pada 30 Agustus 2023
Hal. 731-739

Kata Kunci:

Tegangan Lebih; Transmisi; *Arrester*;
Transformator; Jarak *Arrester*

DOI:

<http://dx.doi.org/10.28926/briliant.v8i3.1290>

Abstrak: Sambaran petir pada saluran transmisi 150 kV dapat menimbulkan tegangan lebih yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan jika tegangan melebihi tingkat isolasi dasar peralatan (TID). Penelitian ini bertujuan untuk menghitung tinggi parameter tower transmisi, menghitung karakteristik *lightning arrester*, dan penentuan jarak optimal penempatan *arrester* dengan transformator daya dengan menggunakan metode Pantulan Berulang. Metode ini digunakan untuk menghitung jarak *arrester* dengan cara menghitung karakteristik *arrester* hingga sampai pada akhirnya mendapatkan hasil jarak optimal *arrester*. Hasil perhitungan parameter tinggi tower transmisi didapatkan hasil sebesar 41,9 meter. Hasil perhitungan karakteristik *arrester* didapatkan nilai tegangan maksimum (V_m) sebesar 165kV, tegangan pengenalan (E_a) sebesar 500kV, faktor perlindungan (V_p) sebesar 160kV, *margin* (M) sebesar 490kV, faktor perlindungan dari TID peralatan (F_p) sebesar 73,3%, faktor perlindungan dari tingkat perlindungan *arrester* (F_p) sebesar 306,2%, arus pelepasan (I_a) sebesar 16,5kA dan jarak optimal penempatan *arrester* (S) sebesar 22,5 meter.

PENDAHULUAN

Semakin tinggi permintaan akan energi listrik maka harus semakin baik kontinuitasnya, yang tentunya akan menjamin keamanan produksi dan konsumsi listrik, termasuk tegangan, frekuensi, dan keandalan (Manihuruk, 2021). Ketenagalistrikan merupakan sistem penyaluran listrik yang dimulai dari produsen listrik (pembangkit) sampai kepada konsumen (beban). Mulainya proses pembangkitan listrik hingga dapat dipergunakan oleh konsumen disalurkan melalui saluran transmisi, gardu induk dan saluran distribusi (Rahim, 2021).

Saluran transmisi memainkan peran penting dalam pengiriman energi listrik dari pembangkitan ke konsumen. Seringkali terjadi berbagai macam gangguan dalam proses pengiriman energi listrik dari pembangkitan ke konsumen. Pada saluran transmisi, gangguan tersebut dapat terjadi yang dikeranakan faktor alam seperti sambaran petir yang merupakan salah satu faktor penyebabnya (Agustian & Wibowo, 2018). Sambaran petir pada saluran transmisi 150 kV dapat menimbulkan

tegangan lebih yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan jika tegangan melebihi tingkat isolasi dasar peralatan (TID) (Sintianingrum dkk., 2016).

Dalam menangani dari gangguan petir, dipasanglah alat penangkal petir di pintu masuk gardu induk yang dapat melindungi komponen kelistrikan agar dapat disalurkan dengan baik hingga ke konsumen. (Nasution, 2019). Pada suatu gardu induk mempunyai peralatan vital yaitu transformator, maka pada suatu transformator pemasangan peralatan proteksi adalah suatu hal yang sangat diperlukan guna menghindari *blackout* atau gangguan (Budiman & Supardi, t.t.).

Transformator daya (trafo daya) adalah komponen ketenagalistrikan yang berperan sebagai penaik tenaga atau daya listrik dari pembangkit lalu di salurkan ke suatu gardu induk (Bahri dkk., t.t.) (Subagyo & Suprianto, 2017) (Nasution, 2019). Salah satu alat proteksi yang sangat berguna untuk melindungi peralatan di gardu induk dari tegangan tinggi atau tegangan lebih yang disebabkan oleh surja hubung maupun surja petir ialah *lightning arrester* (Pasra dkk., 2022).

Penangkal petir adalah alat pelindung yang digunakan untuk melindungi kinerja transformator dari gangguan *transien* yang disebabkan oleh sambaran petir. Tetapi area perlindungan *arrester* ini memiliki keterbatasan. Daerah perlindungan lonjakan didefinisikan sebagai jarak maksimum antara *arrester* dan transformator. Jika *arester* terlalu jauh dari trafo, tegangan ke trafo arus dapat melebihi tegangan yang diijinkan dari trafo (BIL transformator daya) (Nugroho & Handoko, t.t.).

Arrester diletakkan dekat dengan transformator daya, oleh sebab itu *arrester* tidak dapat memproteksi semua peralatan proteksi listrik di gardu induk. Area proteksi petir ditentukan oleh tiga faktor: isolasi peralatan, tegangan operasi proteksi petir, dan jarak antara proteksi petir dan peralatan (Saragih & Nasution, t.t.). Jarak antara *arrester* dan peralatan yang dilindungi merupakan parameter penting; sementara itu jarak yang paling disarankan untuk menempatkan *arester* ialah ditempatkan sedekat mungkin dengan peralatan, namun hal ini tidak selalu memungkinkan dalam praktiknya dilapangan. Jika jaraknya terlalu jauh, tegangan abnormal yang diterapkan ke terminal peralatan akan lebih besar daripada tegangan pelepasan *arrester* tersebut (Manihuruk, 2021).

Gardu induk Bintang memiliki tegangan operasional sebesar 150Kv dengan 2 buah transformator daya dengan daya terpasang sebesar 60MVA dan *arrester* sebanyak 3 buah *arrester* yang terbentang dari GI Sri Bintang-Tanjung Uban dengan rating *arrester* (*TRIDELTA*) sebesar 138kV. Sesuai hasil wawancara yang dilakukan dngan pihak gardu induk Bintang pernah terjadi adanya gangguan akibat petir yang pernah terjadi pada transformator daya yang menyebabkan turunnya kinerja dari transformator itu sendiri.

Upaya PLN untuk meningkatkan kinerja dari *arrester* ini membutuhkan pemeliharaan rutin, kualitas, ketepatan, dan prosedural. Selain itu, penempatan arester yang optimal akan berdampak signifikan pada kemampuan kinerja *arrester* untuk memberikan proteksi pada peralatan dari lonjakan tegangan yang dikarenakan oleh petir (Labado & Pambudi, 2015). Terdapat beberapa metode untuk menentukan jarak optimum antara *arester* dengan peralatan yang diproteksi, salah satunya adalah metode *Repeated Reflection* (pantulan berulang). Metode ini merupakan metode untuk menentukan jarak maksimum antara *arrester* dengan peralatan, serta panjang maksimum kawat hantaran pengkoneksi peralatan ke

saluran transmisi Gardu Induk 150kV Bintang, yang mana dalam hal ini peralatan trafo dan *arrester* ditempatkan pada suatu jarak tertentu.

Berdasarkan beberapa hasil penelitian tersebut, dapat dinyatakan bahwa jarak antara *arester* dengan trafo atau peralatan lainnya sangatlah berpengaruh selain itu, posisi *arester* dapat mempengaruhi banyaknya jumlah sambaran petir yang terjadi di jaringan transmisi namun pada penelitian sebelumnya belum dilakukan optimalisasi jarak antara penempatan *arester* dengan gelombang petir yang dihasilkan jika jarak *arester* pada saluran transmisi dioptimalkan. Oleh karena itu penelitian ini difokuskan pada optimalisasi jarak penempatan *arrester* di saluran transmisi sesuai metode yang digunakan pada saluran transmisi untuk memberikan perlindungan terhadap transformator daya.

METODE

Prosedur Penelitian

1. Data Spesifikasi Peralatan Gardu Induk Bintang

Gardu Induk Bintang diklasifikasikan sebagai gardu konvensional atau eksternal berdasarkan jenis, peran, dan lokasi pemasangannya. Gardu Induk Bintang dilengkapi dengan dua Power Transformer, yaitu :

a. Transformator daya 1, 60 MVA merk *UNINDO*

b. Transformator daya 2, 60 MVA merk *PAUWELS*

Transformator daya ini dilengkapi dengan 3 buah jenis *arrester* yaitu

Lightning arrester 1 : *SIEMENS* tipe 3EP6 -150 2PD31-2CA1

Lightning arrester 2 : *TRIDELTA* tipe SB138/10.30

Lightning arrester 3 : *ABB* tipe EXLIMO144EV170

Berdasarkan pengamatan yang ada di gardu induk Bintang, berikut spesifikasi komponen yang diamati antara lain :

1. *Lightning arrester*

Merk : *SIEMENS*
Tipe : 3EP6 -150 2PD31-2CA1
Tegangan Operasional: 150 Kv
Tegangan Nominal : 150 Kv
Tegangan Rating : 150 Kv
Arus : 10 Ka
BIL : 750 Kv
MCOV : 120 Kv

2. Transformator daya

Merk : *UNINDO*
Tipe : *Outdoor*
Fasa : 3 fasa (RST)
Tegangan Operasional: 150 Kv
Daya : 60 MVA
Tegangan Primer : 150 Kv
Tegangan Primer *Max*: 170 Kv
Arus Primer : 138,6 Ka
Arus Sekunder : 944,8 Ka
BIL : 650 Kv
Frekuensi : 50 Hz

2. Perhitungan Parameter Tower Transmisi

Perhitungan ketinggian menara transmisi sangat penting karena menara juga harus menyesuaikan dengan medan atau lingkungan sekitarnya untuk mencapai jarak bebas yang baik antara konduktor dan permukaan bumi. Ketinggian menara kemudian dapat ditentukan dengan menggunakan rumus di bawah ini (Criyanto & Muljono, t.t.) (Harijanto dkk., 2021).

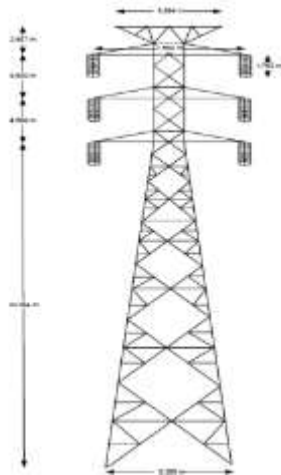
$$T_m = j_b + j + D_{max}$$

Dengan :

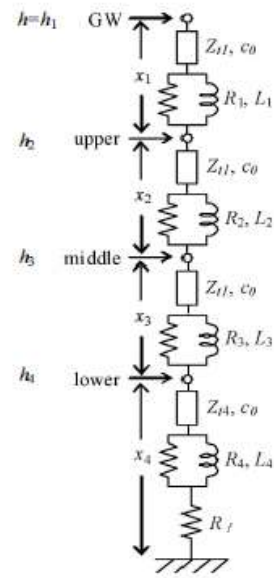
J_b = travers kawat tanah

J = travers kawat fasa 2 buah

D_{max} = rangka tiang



Gambar 1. Tower transmisi



Gambar 2. Single line tower transmisi

3. Menentukan karakteristik *Lightning Arrester* dan koordinasi sistem 150 k V

Dalam menentukan tegangan pengenalan *arrester* harus disesuaikan dengan tegangan kerja *arrester* selama beroperasi dan sesuai dengan karakteristiknya. Adapun cara memastikan karakteristik *arrester*, yaitu:

1. Tegangan sistem maksimum

Pada umumnya dalam menentukan tegangan maksimum *arrester*, tegangan sistem maksimum diatur ke 110% dari tegangan sistem nominal. Persamaan tersebut ditunjukkan pada persamaan 1 di bawah ini.:

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

2. Tegangan pengenalan (E_a)

$$U_r = 1,25 \times U_c \quad (2)$$

Dengan :

U_r = tegangan pengenalan

$U_c = V_a$ = tegangan kerja *arrester*

1,25 = temporary tegangan lebih

3. Tingkat perlindungan (V_p)

$$V_p = V_a + 10\% \quad (3)$$

Dengan :

$V_a = U_c$ = tegangan kerja dari *arrester*
 V_p = tingkat perlindungan *arrester*
 10% = toleransi pabrik

4. *Margin* (M)

Selisih yang didapatkan dari BIL (*Basic Insulation Level*) terhadap peralatan yang dilindungi dengan level perlindungan *arrester* yang memroteksinya biasa disebut dengan *margin*.

$$\text{Margin} = \text{TID peralatan} - V_p \quad (4)$$

5. Faktor proteksi (Fp)

Faktor proteksi adalah besarnya beda tegangan antara BIL atau (TID) peralatan yang diproteksi dengan tegangan operasi *arester*.

Faktor perlindungan apabila didapatkan dari TID peralatan yang dilindungi:

$$F_p = \frac{\text{margin}}{\text{TID peralatan}} \times 100\% \quad (5)$$

Faktor proteksi apabila didapatkan dari tingkat perlindungan *arrester*

$$F_p = \frac{\text{margin}}{V_p} \times 100\% \quad (6)$$

6. Arus pelepasan (Ia)

Arus pelepasan adalah magnitudo puncak arus impuls 8/20 μs dan diaplikasikan untuk mengelompokkan *arester*. Berikut ini adalah persamaan dalam menentukan arus pelepasan *arester* :

$$R = \frac{\text{Tegangan nominal}}{\text{Arus nominal}} \quad (7)$$

4. Penentuan Jarak Optimal Antara *Arrester* dengan Transformator Daya

Metode pantulan berulang adalah metode pendekatan yang digunakan untuk menghitung jarak maksimum antara *arester* dengan peralatan, serta panjang kawat penghantar maksimum yang menghubungkan peralatan pada saluran transmisi. Metode seperti ini dapat diaplikasikan sebagai penghitung jarak aman maksimum antara trafo dengan *arester*, sehingga *arester* bisa ditempatkan dengan benar dan dapat memroteksi peralatan, seperti halnya trafo.

Agar mendapatkan hasil penentuan jarak optimal *arrester* terhadap transformator penelitian ini dimulai dengan menghitung tegangan maksimum *arrester*, tegangan pengenalan, tingkat perlindungan, *margin*, faktor perlindungan, dan arus pelepasan sampai nanti akhirnya menghitung jarak optimalnya.

$$E_p = E_a + 2 A S/v \quad (8)$$

Dengan :

E_a = tegangan percik *arrester*

E_p = Tegangan pada jepitan transformator

$A = de/dt$ = kecuraman gelombang datang, konstan

S = jarak *arrester* dan transformator

v = kecepatan merambat gelombang

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan parameter tinggi tower transmisi

Dari hasil persamaan 4 parameter tower transmisi didapat tingginya sebesar 41,9 meter. Salah satu jenis saluran listrik adalah saluran udara tegangan tinggi, yang digunakan untuk mentransmisikan tenaga listrik dalam jarak yang sangat jauh dari pusat pembangkitan listrik menuju beban. Dalam menyalurkan listrik dari pembangkitan listrik menuju beban digunakanlah Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dengan tegangan 150 kV. Tipe konstruksi saluran transmisi tegangan tinggi yang paling umum di jaringan PLN adalah jenis konstruksi menara baja.

Hasil perhitungan karakteristik *lightning arrester*

Tabel 1. Hasil perhitungan karakteristik dapat dilihat pada tabel dibawah

| Vm | Ea | Vp | M | Fp | Fp | Ia |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|-------------|------------|
| 165 Kv | 500 Kv | 160 Kv | 490 Kv | 73,3% | 306,2 Kv | 16,5 Ka |

Tegangan Nominal (Vm) atau tegangan maksimum adalah tegangan yang biasanya dapat dibawa pada saluran listrik tanpa mengalihkan tegangan lebih ke *ground*. Berdasarkan standarisasi PLN dan hasil penelitian yang telah dilakukan menerangkan bahwa tegangan nominal arester harus lebih tinggi dari tegangan sistem, dimana tegangan maksimum sistem dapat mencapai 165 kV. Dengan demikian, tegangan sistem maksimum yang dapat digunakan adalah 165 kV.

Nilai dari tegangan pengenalan (Ea) adalah 500 kV. Tegangan pengenalan *arrester* adalah tegangan dimana *arrester* masih dapat berfungsi sesuai dengan spesifikasinya. Akan tetapi ini hanyalah pengenalan tegangan, pada beberapa jenis *arrester*, nilai arus, yang menentukan kapasitas termal *arrester*, juga merupakan salah satu faktornya. *Arrester* tidak dapat beroperasi pada tegangan maksimum sistem, tetapi dapat secara efektif memutus arus yang terbawa dari sistem. (Santijatodjaja dkk., 2019).

Nilai tingkat perlindungan dari *arrester* (Vp) atau nilai dari tegangan tertinggi pada terminal *arrester* didapat dengan nilai sebesar 160 kV. BIL atau TID (Tingkat Isolasi Dasar) berdasarkan peralatan-peralatan yang terproteksi, peralatan disini ialah transformator dengan memiliki nilai TID 650 Kv yang tertera pada *nameplate* trafo.

Margin dari *arrester* adalah sebesar 490 kV. Selisih yang didapatkan dari BIL (*basic insulation level*) terhadap peralatan yang dilindungi dengan level perlindungan *arrester* yang memproteksinya biasa disebut dengan *margin*. Perbedaan antara BIL peralatan yang dilindungi dan tingkat perlindungan yang diberikan oleh *arrester* biasanya 20%-30% dari peralatan yang dilindungi.

Jadi, dikarenakan aspek perlindungan yang didapatkan dari TID peralatan (transformator) 73,3% lebih kecil nilai persentasenya dibandingkan dengan aspek perlindungan yang didapatkan dari tingkat perlindungan *arrester* yaitu sebesar 306,2%. Maka dapat dikatakan bahwasanya *arrester* tersebut masih memenuhi syarat dalam memproteksi peralatan, yakni transformator, dikarenakan menurut penelitian relevan yang membahas mengenai *Evaluasi Sistem Penempatan Lightning Arrester pada Transformator* bahwa umumnya besar nilai dari aspek proteksi ialah 20% dan besarnya nilai aspek proteksi yang mampu dikatakan baik

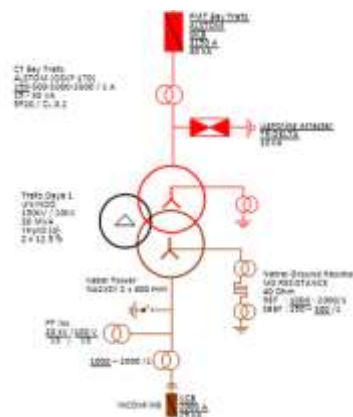
itu tidak diperbolehkan kurang dari 20%. Arus pelepasan (I_a) adalah sebesar 16,5 Ka. Arus pelepasan adalah arus maksimal dapat dialirkan oleh *arrester* tanpa merusak *arrester* itu sendiri:

1. Klasifikasi arus 10 Ka, diperuntukkan sebagai proteksi gardu induk besar dengan frekuensi sambaran petir relatif tinggi dengan tegangan listrik lebih dari 70 Kv.
2. Klasifikasi arus 5 Ka, diperuntukkan sebagai tegangan sistem kurang dari 5Kv.
3. Klasifikasi arus 2,5 Ka, diperuntukkan bagi gardu induk kecil dengan tegangan sistem kurang dari 22Kv, yang mana konsumsi pemakaian klasifikasi 5 Ka tidak lagi relatif mudah.
4. Klasifikasi arus 1,5 Ka diperuntukkan sebagai proteksi trafo lebih kecil.

Jarak Optimal Antara *Arrester* dengan Transformator Daya

Berdasarkan (SPLN T5.007: 2014) pemasangan sebuah *arrester* harus sedekat mungkin dengan peralatan yang dilindunginya. Dalam penempatan *arrester* sering ditempatkan sejarak S dari transformator, transformator merupakan peralatan yang penting pada gardu induk, maka dari itu untuk keperluan koordinasi isolasi, maka *arrester* sebagai peralatan pelindung diletakkan dekat dengan transformator. Berdasarkan persamaan 8 maka di dapatkan hasil jarak antara *arrester* dengan transformator yaitu 22,5 meter.

GI SRIBINTAN



Gambar 3. *Single line* jarak *arrester* dengan transformator

KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan parameter tinggi menara transmisi didapat tinggi 41,9 meter. Hasil karakteristik dari *arrester* meliputi tegangan sistem maksimum (V_m) didapat dengan nilai sebesar 165kV. Tegangan pengenalan (E_a) dengan nilai sebesar 500kV. Tingkat perlindungan *arrester* sebesar 160kV. *Margin* atau selisih dari BIL peralatan didapat dengan nilai sebesar 490kV. Faktor perlindungan apabila didapatkan dari TID peralatan yang dilindungi sebesar 73,3%. Faktor perlindungan apabila didapatkan dari tingkat perlindungan *arrester* sebesar 306,2%. Arus pelepasan *arrester* didapatkan dengan nilai sebesar 16,5kA. Untuk mendapatkan hasil penentuan jarak optimal *arrester* dengan metode pantulan berulang *arrester* terhadap transformator dimulai dengan menghitung tegangan maksimum *arrester*, tegangan pengenalan, tingkat perlindungan, *margin*, faktor perlindungan, dan arus

pelepasan sampai nanti akhirnya menghitung jarak dari perhitungan jarak sehingga didapatkan hasil sebesar 22,5 meter.

SARAN

Untuk penelitian mendatang disarankan dapat meneliti topik terkait dengan jangkuan objek yang lebih luas dan metode yang bervariasi.

DAFTAR RUJUKAN

- Agustian, R., & Wibowo, B. H. (2018). *Analisa Penempatan Jarak Arrester Sebagai Proteksi Transformator Terhadap Tegangan Lebih Surja Petir*. 16(1), 4.
- Bahri, S., Gianto, R., & Arsyad, M. I. (t.t.). *Studi Pertambahan Beban Transformator Daya Pada Gardu Induk Parit Baru PT. PLN (Persero) Cabang Pontianak*. 8.
- Budiman, A., & Supardi, A. (t.t.). *Evaluasi Arrester Untuk Proteksi GI 150 KV Jajar Dari Surja Petir Menggunakan Software PSCAD*. 12(01), 5.
- Criyanto, E., & Muljono, A. B. (t.t.). *Analisis Koordinasi Isolasi Di Gardu Induk Kuta Terhadap Tegangan Lebih Akibat Sambaran Petir Pada Saluran Transmisi 150 KV*. 9.
- Harijanto, P. S., Prasetyo, B. E., & Raganingrum, E. (2021). Uji Performa Pengaman Gangguan Petir Pada Saluran Transmisi 70 kV GI Kebonagung – GI Polehan Menggunakan ATP DRAW. *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 8(2), 32–37. <https://doi.org/10.33795/elposys.v8i2.48>
- Labado, R., & Pambudi, P. E. (2015). *Analisis Penempatan Arrester Terhadap Efektivitas Proteksi Transformator Pada PT. PLN (Persero) P3B Jawa- Bali APP Salatiga Gardu Induk 150 KV Bantul*. 2(2), 9.
- Manihuruk, J. (2021). *Studi Kemampuan Arrester Untuk Pengaman Transformator Pada Gardu Induk Tanjung Morawa 150 KV*. 4(1), 10.
- Nasution, R. (2019). *Analisa Penempatan Lightning Arester Sebagai Pengaman Gangguan Petir Di Gardu Induk Langsa* 14(3), 5.
- Nugroho, I., & Handoko, S. (t.t.). *Optimasi Penempatan Arrester Terhadap Tegangan Lebih Transien Pada Transformator Daya Dengan Metode Algoritma Genetika*. 8.
- Pasra, N., Samsurizal, S., & Tresya, K. (2022). Optimasi Gangguan Surja Petir Dengan Pengaturan Jarak Lightning Arrester. *Setrum : Sistem Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, 11(1). <https://doi.org/10.36055/setrum.v11i1.14514>
- Rahim, I. A. A. (2021). *Analisa Pnentuan Jarak Optimal Antara Lightning Arrester Dengan Transformator Di Gardu Induk Skyline*. 88.
- Santjiatodjaja, C. A., Patras, L. S., & Mangindaan, G. (2019). *Analisa Gelombang Berjalan Pada Saluran Transmisi 70 kV Gardu Induk Teling*. 8.
- Saragih, R., & Nasution, R. (t.t.). *Studi Peralatan Proteksi Sambaran Petir Lightning Arrester Pada Jaringan Distribusi 20 KV*. 5, 10.
- Sintianingrum, A., Martin, Y., & Komalasari, E. (2016). *Simulasi Tegangan Lebih Akibat Sambaran Petir terhadap Penentuan Jarak Maksimum untuk Perlindungan Peralatan pada Gardu Induk*. 10(1), 8.

- Subagyo, L. A., & Suprianto, B. (2017). Sistem Monitoring Arus Tidak Seimbang 3 Fasa Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknik Elektro*, 06, 9.
- T, S. H. S., Prastyono, I., & Pambudi, E. (2018). Evaluasi Sistem Penempatan *Lightning Arrester* Pada Transformator Gardu Induk 150 kV