

EVALUASI PENENTUAN JARAK ARRESTER DAN TRANSFORMATOR 30 MVA
DENGAN METODE DIAGRAM TANGGA (*LATTICE DIAGRAM METHOD*)
DI GARDU INDUK BOOMBARU

Wiwin A. Oktaviani¹, M. Erik Romanzah²

¹Universitas Muhammadiyah Palembang

²Universitas Muhammadiyah Palembang

winarvin1302@gmail.com, romanzah_erik@gmail.com

ABSTRAK

Kemampuan gardu induk dalam menahan tegangan lebih akibat surja petir mempengaruhi penyaluran daya sistem tenaga listrik. Agar gardu induk dapat berfungsi secara optimal, diperlukan pemasangan arrester guna melindungi transformator di gardu induk dari tegangan lebih yang diakibatkan surja petir. Agar arrester dapat memberikan perlindungan yang optimal terhadap trafo daya, maka perlu dilakukan perhitungan jarak maksimal arrester dengan transformator. Pada penelitian ini penentua jarak arrester dengan trafo daya di Gardu Induk Boombaru menggunakan *Lattice Diagram*. Hasil perhitungan menunjukkan dengan jarak antara arrester dan trafo daya sebesar 8,25 meter, tegangan maksimum di arrester sebesar 306,02 kV pada waktu $t = 15,96 \mu\text{det}$. Sedangkan jarak real di lapangan adalah 4 meter, dengan tegangan maksimum di arrester sebesar 271,4 kV pada waktu $t = 12 \mu\text{det}$ yang berarti dibawah standar TID transformator. Dengan demikian transformator pada Gardu Induk Boombaru terlindungi dengan baik.

Kata kunci: Surja petir, arrester, Lattice Diagram

I. PENDAHULUAN

Salah satu penyebab kerusakan pada peralatan listrik di sebabkan oleh fenomena alam, yaitu sambaran petir baik secara langsung maupun secara induksi. Ini menimbulkan tegangan lebih yang tinggi. Oleh karena itu di butuhkan peralatan untuk memproteksi peralatan yang akan di lindungi.

Transformator daya merupakan peralatan penting di suatu gardu induk. Karena lokasinya yang pada umumnya berda di luar ruangan (*outdoor substation*) maka transformator daya rentan terhadap gangguan yang diakibatkan petir. Guna melindungi transformator ditempatkan *arrester*.

Untuk mendapatkan unjuk kerja yang baik pada arrester, jarak maksimum antara *arrester* dan transformator hendaklah diketahui sehingga *arrester* mampu melindungi transformator dari tegangan lebih akibat gangguan petir.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Perlindungan Gardu Induk Terhadap Petir

Gardu induk merupakan suatu instalasi yang teralatan listrik yang terdiri dari sekumpulan peralatan listrik diantaranya transformator daya. Umumnya GI terletak di ruangan terbuka (*outdoor*) sehingga rentan terhadap sambaran petir. Pengamanan Gardu Induk menjadi hal yang mutlak agar GI dapat beroperasi sebagaimana fungsinya. Khusus perlindungan gardu induk terhadap sambaran petir terbagi dalam 2 bagian :

1. Perlindungan terhadap sambaran langsung
2. Perlindungan terhadap gelombang yang datang dari kawat transmisi

Ketika petir menyambar pada suatu ujung saluran, gelombang petir yang merambat sepanjang kawat transmisi akan mengalami redaman dan distorsi yang disebabkan oleh *corona*, *skin effect*, resistivitas tanah dan *coupling* (Arismunandar, 1975). Rambatan ini disebut juga gelombang berjalan. Jika gelombang berjalan ini menemui sebuah titik peralihan, seperti hubung terbuka, hubung singkat ataupun perubahan impedansi seperti saat gelombang mencapai gardu, maka kondisi yang akan terjadi adalah sebagian dari gelombang itu akan dipantulkan dan sebagian lagi akan diteruskan ke bagian lain dari saluran tersebut (Rahmawati, 2012). Karenanya gelombang petir dapat dianalisa sebagai fenomene gelombang berjalan dan pantulan berulang.

Apabila surja dengan tegangan sebesar e mencapai gardu, terjadi pantulan dan tegangan puncak pada gardu menjadi :

$$e_z = b e = \frac{bE}{1-KEx} \quad (1)$$

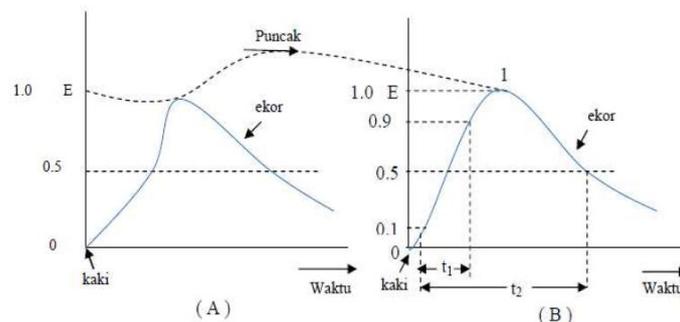
Dimana,

$$b = \frac{\text{puncak dari surja selama pantulan}}{\text{puncak dari gelombang berjalan bebas}} = \text{indeks terusan}$$

B. Sambaran Petir Sebagai Gelombang Berjalan

Spesifikasi dari suatu gelombang berjalan (Hutauruk, 1989) antara lain meliputi :

1. Puncak (crest) gelombang, E (kV), yaitu amplitude maksimum dari gelombang.
2. Muka gelombang, t_1 (mikro detik), yaitu waktu dari permulaan sampai puncak. Dalam praktek ini diambil dari 10% E, lihat gambar (2.5b).
3. Ekor gelombang, yaitu bagian dibelakang puncak. Panjang gelombang, t_2 (mikro detik), yaitu waktu dari permulaan sampai titik 50% E pada ekor gelombang.
4. Polaritas, yaitu polaritas dari gelombang, positif atau negative.



Gambar 1. Spesifikasi gelombang berjalan

Suatu gelombang berjalan (surja) dinyatakan sebagai $(E, t_1/t_2)$

Dengan,

E : Tegangan Puncak

t_1/t_2 : Rasio muka gelombang terhadap ekor gelombang surja

Pernyataan matematis suatu gelombang berjalan dinyatakan dengan persamaan dibawah ini :

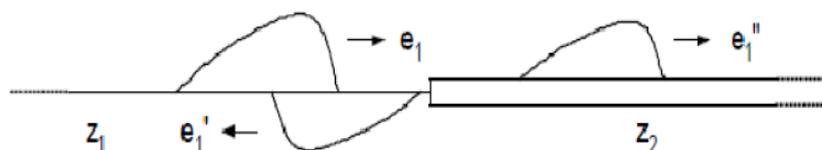
$$E(t) = E (e^{-at} - e^{-bt}) \quad (2)$$

Dimana E, a dan b adalah konstanta.

Sebagian gelombang akan memantul dan sebagian lagi akan diteruskan saat gelombang surja berjalan menemui suatu titik yang mengalami *open circuit*, hubung singkat, atau perubahan impedansi. Pada titik tersebut besar tegangan dan arus dapat mencapai 2 kali dari besar tegangan gelombang yang datang.

Karenanya dikenal tiga sub bagian dari gelombang berjalan yaitu :

- Gelombang datang (*incident wave*)
- Gelombang pantulan (*reflected wave*)
- Gelombang terusan (*transmitted wave*).



Gambar 2.5. Perubahan impedansi pada titik peralihan

Keterangan gambar :

- e_1 : Gelombang datang (*incident wave*)
 $e_{1'}$: Gelombang pantulan (*reflected wave*)
 $e_{1''}$: Gelombang terusan (*transmitted wave*)

C. Impedansi Surja (Z)

Besarnya impedansi surja pada kawat udara dipengaruhi oleh ketinggian kawat di atas tanah, (h) dan jari-jari konduktor (r) (Hutauruk, 1989) , dengan :

$$z = 60 \ln \frac{2h}{r} \text{ ohm} \quad (3)$$

Sedangkan besarnya impedansi surja pada kabel dipengaruhi oleh jari-jari isolasi pembungkus kabel (R), jari-jari konduktor (r), dan permitivitas kabel (ϵ), dimana :

$$z = (60/\epsilon) \ln \frac{R}{r} \text{ ohm} \quad (4)$$

D. Lighning Arrester

Arrester sudah dikenal sebagai salah satu alat proteksi petir. Fungsi utama alat ini adalah untuk membentuk jalur *by pass* di sekitar isolasi agar arus kilat segera mengalir ke sistem pentanahan sehingga tidak timbul tegangan lebih yang dapat merusak isolasi peralatan listrik.

Prinsip kerja arrester yaitu dalam keadaan normal arrester berlaku sebagai isolator, dan saat timbul tegangan surja alat ini berubah menjadi konduktor yang tahanannya relatif rendah, sehingga dapat menyalurkan kan arus yang tinggi ke tanah. Setelah surja hilang, arrester harus dengan cepat kembali menjadi isolasi. Umumnya arrester dipasang pada setiap ujung saluran udara tegangan tinggi yang memasuki gardu induk (Tobing, 2003).

Karakteristik Arrester diantaranya adalah :

- Tegangan dasar yang tidak boleh dilampui
- Dibatasi Oleh Arus
- Mempunyai Batas Termis

E. Jarak Maksimum Arrester dan Trafo Daya yang Terhubung Saluran Udara

Arrester dan trafo terhubung melalui saluran udara dan transformator dianggap sebagai jepitan terbuka (Hutauruk,1989). Idealnya arrester harus ditempatkan sedekat mungkin dengan trafo sejauh X meter. Penentuan jarak ini menggunakan persamaan :

$$E_p = E_a + 2AS/v \quad (5)$$

Dimana:

E_a = Tegangan percik arrester

E_p = TID transformator

A = kecuraman gelombang

v = 300 m/ μ s (kecepatan cahaya)

F. Metode Diagram Tangga (*Lattice Diagram Method*)

Sebagaimana yang telah diuraikan bahwa sambaran petir akan merambat sepanjang saluran transmisi membentuk gelombang berjalan, dimana sebagian dari gelombang akan mengalami pantulan dan terusan. Untuk dapat mengikuti jejak gelombang-gelombang itu pada suatu interval waktu diperlukan diagram tangga (*lattice diagram*). Dengan diagram ini dapat dilihat bagaimana posisi dan arah gerak dan tiap-tiap gelombang datang, gelombang pantulan dan gelombang terusan berikut pengaruh redaman dan distorsi (Hutauruk, 1989).

1. Analisis Transien Pantulan

Tegangan di hubungkan pada ujung pengirim saluran transmisi yang di tutup (*terminated*) dengan impedansi Z_R , adalah resistansi murni. jika saklar di tutup dan suatu tegangan terhubung pada

saluran, suatu gelombang tegangan v^+ mulai berjalan sepanjang saluran di ikuti oleh suatu gelombang arus i^+ . Perbandingan tegangan v_R dan arus i_R di ujung saluran pada setiap saat harus sama dengan resistansi penutup Z_R , karna itu kedatangan v^+ dan i^+ harus menimbulkan tegangan berjalan ke belakang atau gelombang-gelombang pantulan v^- dan i^- yang nilainya di ujung penerima adalah v_R^- dan i_R^- .

Tegangan v_R^- diujung penerima ternyata adalah fungsi yang sama dari t seperti v_R^+ (tetapi dengan besar yang berkurang kecuali jika Z_R sama dengan nol atau tak terhingga). Koefisien pantulan ρ_R untuk tegangan diujung penerima saluran di defenisikan sebagai v_R^-/v_R^+ (Harjanto, D. 2010) sehingga,

$$\rho_R = \frac{Z_R - Z_c}{Z_R + Z_c} \quad (6)$$

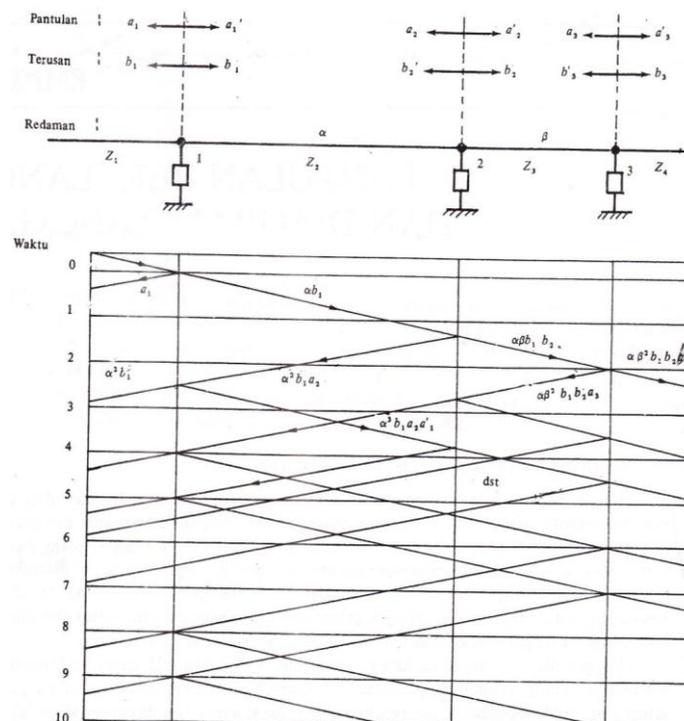
Jika saluran dihitung dengan impedansi karakteristiknya Z_c , terlihat bahwa koefisien pantulan baik tegangan maupun arus akan sama dengan nol. Tidak akan ada gelombang pantulan dan saluran akan berlaku seakakn-akan panjang nya tidak terhingga. Jika suatu gelombang pantulan kembali ke ujung pengirim, barulah sumber tegangan merasakan bahwa salaran tidak terhinga panjang nya atau ditutup dengan Z_c . Penutup dengan hubung singkat (shot circuit) menghasil kan ρ_R untuk tegangan sama dengan -1. Jika ujung saluran merupakan suatu rangkaian etrbuka . Z_R adalah tak terhingga dan ρ_R didapat dengan pembagi bilangan dan penyebut pada persamaan (3.1) dengan Z_R dan membuat Z_R mendekati tak terhingga untuk menghasilkan $\rho_R = 1$ pada batas untuk tegangan.

Gelombang yang berjalan kembali ke arah ujung pengiriman menyebabkan pantulan-pantulan baru yang di tentukan oleh koefisien pantulan pada ujung pengirim ρ_S . Untuk impedansi ujung pengirim sama dengan Z_s persamaan (5) menjadi.

$$\rho_S = \frac{Z_s - Z_c}{Z_s + Z_c} \quad (7)$$

Dengan Z_s sebagai impedansi ujung pengirim, nilai tegangan pemulaan yang kenakan paada saluran akan sama dengan tegangan yang dikalikan dengan $Z_c/(Z_s+Z_c)$.

Untuk mengkonstruksi Diagram Tangga, perhatikan gambar 2 berikut yang dimana suatu kawat diketanahkan di titik-titik 1,2 dan 3. Gelombang datang dari kiri dan saat mencapai titik I sebagian dipantulkan dan sebagian diteruskan. Gelombang yang diteruskan mencapai titik 2 dan gelombang inipun sebagian dipantulkan dan sebagian diteruskan. Hal yang sama terjadi juga pada titik-titik 3 dan titik-titik selanjutnya.



Gambar 2 : Konstruksi diagram tangga

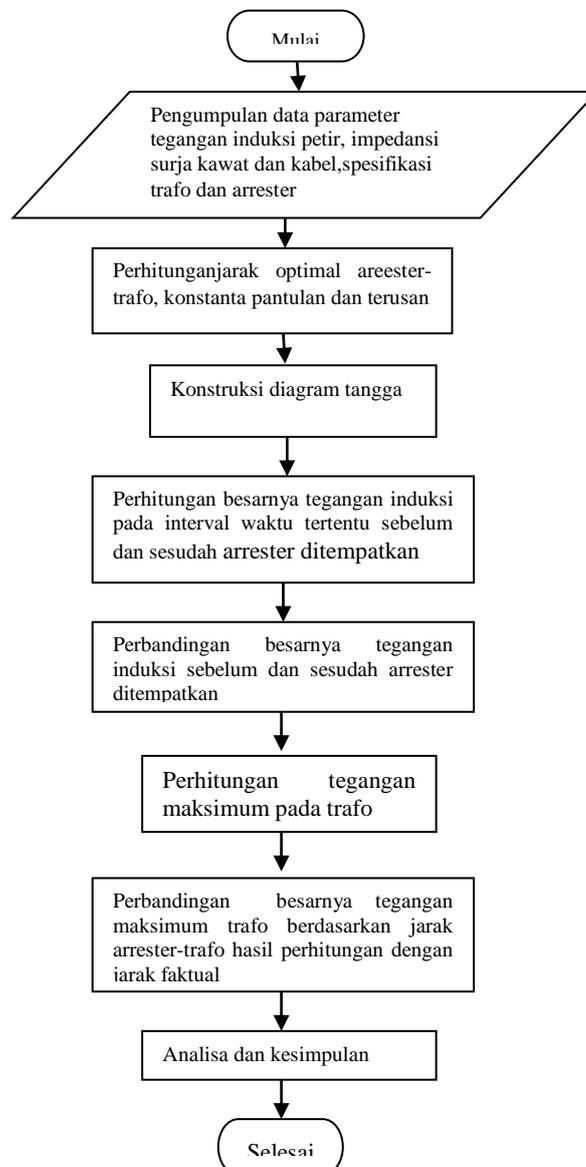
dengan :

- a = operator pantulan untuk gelombang yang datang dari kiri
- a' = operator pantulan untuk gelombang yang datang dari kanan
- b = operator terusan untuk gelombang yang datang dari kiri
- b' = operator terusan untuk gelombang yang datang dari kanan
- α, β = konstanta redaman
- 1, 2, 3, = titik-titik sambungan.

Besarnya operator pantulan dan terusan dihitung menggunakan persamaan 6 dan 7.

III. METODE PENELITIAN

Untuk mengetahui jarak optimum antara arrester dan trafo daya pada penelitian ini, metode Diagram Tangga atau *Lattice Diagram* digunakan. Sifat gelombang yang bila mengenai suatu titik peralihan, akan menimbulkan gelombang-gelombang baru sebagai hasil dari pantulan dan terusan. Berikut diagram alur penelitian :



Gambar 3. Diagram alur penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Trafo daya 30 MVA yang di Gardu Induk Boom Baru dilindungi oleh arrester dengan jarak sejauh 4 meter. Untuk melakukan perhitungan, data yang digunakan pada penelitian sebagai berikut :

Tabel 1. Parameter-Parameter Tegangan Puncak Induksi Petir.^{[5][4]}

Parameter-Parameter Tegangan Induksi Petir	Nilai
Kecuraman Gelombang Datang (<i>A</i>)	1000 kV
Waktu Muka Arus Sambaran Balik (<i>tf</i>)	2 <i>us</i>
Kecepatan Arus Sambaran Balik (<i>v</i>)	300 m/ <i>us</i>
Tinggi Saluran (<i>h</i>)	Tegangan 66 kV = 19 m

Sedangkan data peralatan menggunakan standard PLN untuk tegangan 66 kV sekalipun tegangan kerja dari gardu induk ini adalah 70 kV.

Tabel 2. Data Peralatan untuk Tegangan 66 kV berdasarkan SPLN 7- 1998

Peralatan	Nama Data	Nilai
Data Trafo	BIL	325 kV
Data Arrester	Tegangan pelepasan	270 kV
	Luas penampang	240 mm ²
Kawat	Jari-jari	8,72 mm
	Ketinggian di atas tanah	19 m
	Diameter konduktor	54,4 mm
Kabel	Diameter pembungkus isolasi	77,4 mm
	Permitivitas	4

Jarak maksimum arrester dan trafo dihitung menggunakan persamaan 5, dan didapat hasil 8,25 meter. Sedangkan impedansi surja pada kawat (Z_{kawat}) besarnya 503 Ω yang dihitung menggunakan persamaan (3), dan impedansi surja kabel penghubung saluran udara dan trafo (Z_{kabel}) sebesar 10,54 Ω dihitung dengan persamaan (4).

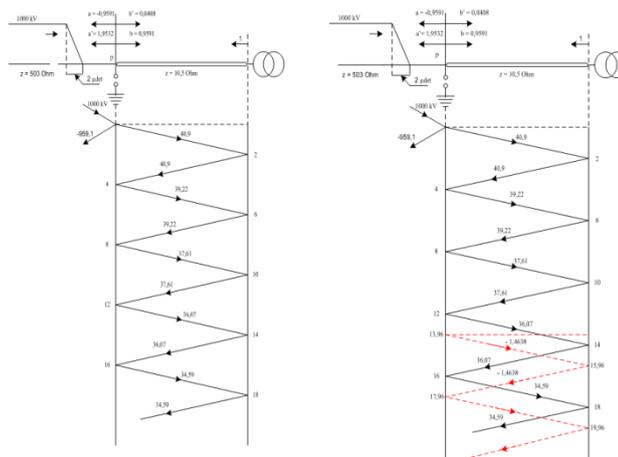
Selanjutnya konstruksi Diagram Tangga untuk menghitung perubahan tegangan didapat dengan menggunakan persamaan (5) dan (6) :

$$a = \frac{10,54 - 503}{10,54 + 503} = -0,9591 \quad ; \quad a' = \frac{2 \times 10,54}{10,54 + 503} = 0,0408$$

$$b = \frac{503 - 10,54}{503 + 10,54} = 0,9591 \quad ; \quad b' = \frac{2 \times 503}{503 + 10,54} = 1,9532$$

Operator pantulan pada ujung terbuka di transformator sebesar 1.^[1]

Untuk kondisi dimana arrester belum ditempatkan, konstruksi diagram tangga yang didapat melalui perhitungan ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 4. Diagram Tangga saat arrester belum ditempatkan (kiri) dan setelah ditempatkan (kanan)

Kenaikan tegangan pada trafo dihitung berdasarkan kondisi diagram tangga pada gambar 4. Kenaikan tegangan sebelum dan sesudah arrester ditempatkan dapat dilihat pada tabel-tabel berikut :

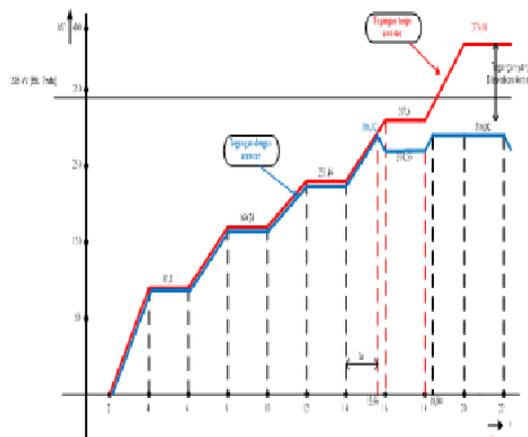
Tabel 3. Kenaikan tegangan sebelum arrester ditempatkan

Waktu (t)	e (kV)
0	0
2	0
4	81,1
6	81,1
8	160,24
10	160,24
12	235,46
14	235,46
16	307,6
18	307,6
20	376,68

Tabel 4. Kenaikan tegangan sesudah arrester ditempatkan

Waktu (t)	e (kV)
0	0
2	40,9
4	40,9
6	121
8	121
10	197,81
12	197,81
14	271,4

Perbandingan tegangan pada jepitan transformator untuk dua keadaan diatas dapat dilihat pada gambar 5 berikut :



Gambar 5. Tegangan Pada Jepitan Transformator Sebelum dan Sesudah Arrester ditempatkan

Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 5. Tegangan pada Lokasi Arrester dan Tegangan pada Transformator

Tegangan Maksimum dititik Sambungan Kawat-kabel $t > 12 \mu\text{det}$		Kenaikan tegangan maksimum pada transformator
Sebelum penempatan arrester	271,4 kV	376,68 kV pada $t = 20 \mu\text{det}$
Sesudah penempatan arrester	270 kV	306,02 kV pada $t = 15,96 \mu\text{det}$

V. SIMPULAN

Jarak maksimum antara arrester dan trafo daya hasil perhitungan adalah sejauh 8,25 meter. Sedangkan jarak sesungguhnya adalah 4 meter. Tegangan maksimal yang timbul pada transformator jika tidak ditempatkan arrester sebesar 376,68 kV yang terjadi pada $t = 20 \mu\text{det}$. Sedangkan jika ditempatkan arrester tegangan maksimum pada transformator sebesar 306,02 kV pada $t = 15,96 \mu\text{det}$. Dengan kata lain pemasangan arrester mampu menurunkan besaran tegangan maksimum pada trafo sebesar hampir 19 persen dengan selisih waktu 4,04 μdet .

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A. (1975). *Teknik Tegangan Tinggi*. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Harjanto, D. (2010). *Optimasi Penempatan Arrester Terhadap Tegangan Lebih Transien Pada Transformator Daya Menggunakan PSO (Particle Swarm Optimization)*.
- Hutauruk, T. S. (1989). *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Erlangga, Jakarta.
- Rahmawati, Y. (2012). *Optimasi Peletakan Arester Pada Saluran Distribusi Kabel Cabang Tunggal Akibat Surja Petir Gelombang Penuh*. TEKNO, 1(1).
- Tobing, B. L. (2003). *Peralatan Tegangan Tinggi*. Gramedia Pustaka Utama.