

EVALUASI TINGKAT ISOLASI DASAR JARAK LINDUNG TRANSFORMATOR DI GARDU INDUK TALANG RATU PALEMBANG TERHADAP PENEMPATAN ARESTER DENGAN METODE GELOMBANG BERJALAN DIAGRAM KISI BEWLEY

Ari Triantoro¹ / Cekmas Cekdin² / Rika Noverianty³

Dosen Tetap Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Palembang^{2&3}
Alumni Prodi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Palembang¹
aritriantoro13@gmail.com¹, cekmas_cekdin@yahoo.com²

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi Tingkat Isolasi Dasar jarak lindung transformator di Gardu Induk Talang Ratu Palembang terhadap penempatan Arester dengan metode gelombang berjalan dan dalam penulisan ini adalah dibatasi hanya mengevaluasi Tingkat Isolasi Dasar jarak lindung transformator di Gardu Induk Talang Ratu Palembang terhadap penempatan Arester dengan metode gelombang berjalan berbasis diagram kisi Bewley. Arester adalah alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir. Ia berlaku sebagai jalan pintas (*by pass*) sekitar isolasi. Arester membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan. Jalan pintas itu harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran arus dari sistem 50 herz. hasil pembahasan dapat di simpulkan sebagai berikut : 1) Dari data jarak antara penempatan arester dan transformator adalah 300 meter, maka pada jarak ini masih cukup aman arester tersebut untuk melindungi transformator, karena TID transformator 660 kV. 2) Tegangan surya yang timbul dari hasil perhitungan adalah 470,64 kV pada $t = 11,38 \mu$ -detik.

Kata Kunci: Jarak, Lindung, Arester

1. PENDAHULUAN

Energi listrik yang dihasilkan pembangkit disalurkan melalui saluran transmisi ke gardu induk. Dalam proses penyaluran energi listrik dari gardu induk ke konsumen seringkali terjadi gangguan, salah satunya adalah masalah gangguan tegangan lebih transien. Tegangan lebih transien dapat disebabkan oleh sambaran petir. Peralatan yang biasa digunakan untuk memproteksi gangguan akibat sambaran petir adalah Arester.

Penempatan arrester dengan jarak tertentu dapat melindungi peralatan dari gangguan tegangan lebih gelombang surja hubung atau transien energi listrik. Saat terjadi gelombang berjalan yang menimbulkan tegangan lebih terhadap peralatan yang letaknya sedikit jauh dari arrester, maka peralatan tersebut akan tetap terlindungi, bila jarak arrester masih dalam radius kerja proteksi.

Arester adalah alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir. Ia berlaku sebagai jalan pintas (*by pass*) sekitar isolasi. Arester membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan. Jalan pintas itu harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran arus dari sistem 50 herz. Jadi pada kerja normal arester itu berlaku sebagai isolator dan bila timbul surja dia berlaku sebagai konduktor, jadi melewatkan aliran arus yang tinggi. Setelah surja hilang, arester harus dengan cepat kembali menjadi isolator, sehingga pemutus daya tidak sempat membuka. Arester daya dapat memutuskan arus susulan tanpa menimbulkan gangguan. Arester terdiri dari dua jenis : jenis ekspulsi (*expulsion type*) atau tabung pelindung (*protector tube*) dan jenis katup (*valve type*).

Kelonggaran perlindungan atau “protective margin“ adalah selisih antara Tingkat Isolasi Dasar (TID) peralatan yang dilindungi dan tingkat perlindungan arester. Korelasi antara kemampuan TID peralatan-peralatan listrik dan rangkaian listrik di satu pihak dan alat-alat pelindung dilain pihak sedemikian sehingga TID dari peralatan-peralatan terlindung dari bahaya tegangan lebih secara ekonomis disebut sebagai koordinasi isolasi dari sistem tenaga listrik. Koordinasi isolasi yang baik akan mampu menjamin : a. Bahwa isolasi peralatan akan mampu menahan tegangan kerja sistem yang normal dan tegangan tidak normal yang mungkin timbul dalam sistem. b. Bahwa isolasi peralatan akan gagal hanya jika terjadi tegangan lebih luar. c. Bahwa jika kegagalan terjadi, maka hanya tempat-tempat yang menimbulkan kerusakan paling minimum. Masalah koordinasi isolasi pada sistem tenaga menyangkut hal-hal sebagai berikut :

1. Penentuan tingkat isolasi dari isolator hantaran.
2. Menentukan Tingkat Isolasi Dasar (TID) dari peralatan.
3. Pemilihan penangkap petir (Arester).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pemilihan Arester

Dalam memilih arester yang sesuai untuk suatu keperluan tertentu, beberapa faktor harus diperhatikan, yaitu ;

- a. Kebutuhan perlindungan ; ini berhubungan dengan kekuatan isolasi dari alat yang harus dilindungi dan karakteristik impuls dari arester.
- b. Tegangan sistem ; ialah tegangan maksimum yang mungkin timbul pada jepitan arester
- c. Arus hubung singkat sistem ; ini hanya diperlukan pada arester jenis tabung.
- d. Jenis arester ; apakah arester jenis gardu, jenis saluran atau jenis distribusi.
- e. Faktor kondisi luar ; temperatur dan kelembaban yang tinggi serta pengotoran.
- f. Faktor ekonomi ; faktor ekonomi ialah perbandingan antara ongkos pemeliharaan dan kerusakan bila tidak ada arester, atau bila dipasang arester yang lebih rendah mutunya.

2.2. Sistem yang Diketanahkan Efektif

Suatu sistem dikatakan diketanahkan efektif bila pada keadaan gangguan tegangan kawat ketanah tidak melampaui 80 % dari tegangan jala-jala sistem. Untuk ini diperlukan persyaratan ; $R_o / X_1 \leq 1$ dan $X_o / X_1 < 3$. Jadi pada sistem misalnya 150 kV, yang diketanahkan efektif pengenal arester dapat diambil ; $0,8 \times 1,1 \times 150 \text{ kV} = 132 \text{ kV}$.

$$\frac{E_a}{E} = \frac{\text{tegangan maksimum kawat ke tanah}}{\text{tegangan jala - jala}} \dots \dots \dots (1)$$

Untuk keperluan analisa ini, transformator dianggap sebagai jepitan terbuka yaitu, keadaan yang paling berbahaya, dimana koefisien terusan sama dengan 2. Apabila gelombang mencapai transformator, terjadi pantulan total, dan gelombang ini kembali ke kawat dengan polaritas yang sama. Waktu yang dibutuhkan oleh gelombang untuk merambat kembali ke arrester = $2 S/v$. Bila arester mulai memercik (*sparkover*) tegangan jepitan arester,

$$E_a = A.t + A \left(t - \frac{2S}{v} \right) = 2At - \frac{2AS}{v} \dots \dots \dots (2)$$

Bila waktu percik arrester t_{so} , dihitung mulai gelombang itu pertama kali sampai ke arrester, maka persamaan (2) menjadi,

$$t_{so} = \frac{E_a + \frac{2AS}{v}}{2A} \dots \dots \dots (3)$$

Setelah arester itu memercik ia berlaku sebagai jepitan hubung singkat, dan menghasilkan gelombang. Gelombang negatif ini yang merambat ke transformator, dan setelah pantulan pertama pada transformator terjadi, jumlah tegangan pada transformator menjadi,

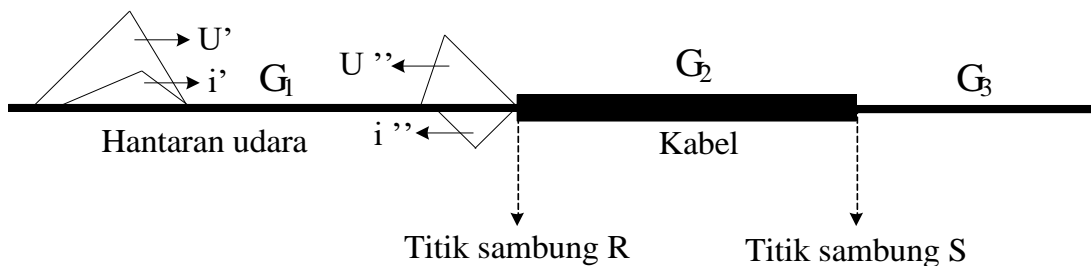
$$E_p = 2At - 2A(t - t_{so}) = 2At_{so} = 2A \frac{E_a + \frac{2AS}{v}}{2A} \dots \dots \dots (4)$$

Atau :

$$E_p = E_a + \frac{2AS}{v} \dots \dots \dots (5)$$

2.3. Perambatan Gelombang pada Saluran Transmisi

Dengan suatu kabel dengan impedansi terpa Γ_2 . Pada hantaran udara ini merambat sebuah gelombang terpa U' dan arusnya i' . Gelombang ini pada titik R mengalami pantulan dan terusan, gelombang pantulannya U'' dengan arus i'' , lihat gambar 2.1.



Gambar 1. Perambatan gelombang pada hantaran udara dan kabel

Besar gelombang pantulan dan terusan pada titik R dapat ditentukan sebagai berikut :

- **Gelombang pantul**

Besarnya gelombang pantul pada titik R adalah :

$$U = U' + U'' \dots \dots \dots (6)$$

Sedangkan besar arusnya adalah :

$$i = i' + i'' \dots \dots \dots (7)$$

Atau :

$$i = \frac{U'}{\Gamma_1} - \frac{U''}{\Gamma_1} \dots \dots \dots (8)$$

Sedangkan arus yang ditinjau dari kabel adalah :

$$i = i' + i'' \dots \dots \dots (9)$$

Atau :

$$i = \frac{U'}{\Gamma_2} - \frac{U''}{\Gamma_2} \dots \dots \dots (10)$$

Dari Persamaan (8) dan (10) didapat :

$$U'' = U' \left[\frac{\Gamma_2 - \Gamma_1}{\Gamma_2 + \Gamma_1} \right] \dots \dots \dots (11)$$

Atau :

$$U'' = U' \cdot \beta_1 \dots \dots \dots (12)$$

dengan : $\beta_1 = \left[\frac{\Gamma_2 - \Gamma_1}{\Gamma_2 + \Gamma_1} \right]$, yang disebut koefisien refleksi dari hantaran udara ke kabel. Untuk koefisien refleksi dari kabel ke hantaran udara adalah : $\beta_2 = \left[\frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{\Gamma_2 + \Gamma_1} \right]$

- **Gelombang terusan**

Arus pada titik sambung R dapat juga dicari dengan persamaan seperti berikut :

$$i = \frac{U'}{\Gamma_2} \dots \dots \dots (13)$$

jadi Persamaan (2.8) dapat ditulis :

$$\frac{U}{\Gamma_2} = \frac{U'}{\Gamma_1} - \frac{U''}{\Gamma_1} \dots \dots \dots (14)$$

Bila Persamaan (2.6) ditulis :

$$U'' = U - U' \dots \dots \dots (15)$$

Persamaan (14) disubstitusikan ke Persamaan (13) didapat :

$$\frac{U'}{\Gamma_2} = \frac{U'}{\Gamma_1} - \frac{(U - U')}{\Gamma_1} \dots \dots \dots (16)$$

Persamaan (16) diatas dapat disederhanakan :

$$U = U' \frac{2\Gamma_2}{\Gamma_1 + \Gamma_2} \dots \dots \dots (17)$$

atau; $U = U' \rho_1 \dots \dots \dots (18)$

dengan : $\rho_1 = \left[\frac{2\Gamma_2}{\Gamma_2 + \Gamma_1} \right]$, yang disebut koefisien refraksi dari hantarn udara ke kabel. Untuk koefisien refraksi dari kabel ke hantaran udara adalah: $\rho_2 = \left[\frac{2\Gamma_1}{\Gamma_2 + \Gamma_1} \right]$

Untuk koefisien refleksi dari kabel ke hantaran dengan impedansi Γ_3 adalah : $\beta = \left[\frac{\Gamma_3 - \Gamma_2}{\Gamma_3 + \Gamma_2} \right]$, dengan $\Gamma_3 = \infty$, maka :

$$\beta = \left[\frac{1 - \Gamma_2/\Gamma_3}{1 + \Gamma_2/\Gamma_3} \right] = 1$$

Untuk koefisien refraksi dari kabel ke hantaran dengan impedansi Γ_3 adalah :

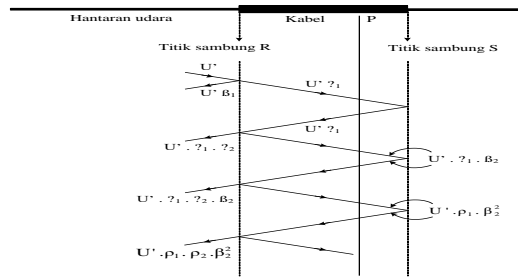
$$\rho_2 = \left[\frac{2\Gamma_3}{\Gamma_3 + \Gamma_2} \right] = \left[\frac{2}{1 + \Gamma_2/\Gamma_3} \right] = 2$$

Dalam menentukan total tegangan di titik P pada kabel dengan waktu tertentu (t) seperti Gambar 2.2 (diagram kisi Bewley) adalah penjumlahan tegangan-tegangan di titik P sampai waktu titik t, yaitu :

$$U = U' \rho_1 (2 + 2\beta_2 + 2\beta_2^2 + 2\beta_2^3 + 2\beta_2^4 + \dots) \dots \dots \dots (19)$$

Atau :

$$U = 2 U' \rho_1 (1 + \beta_2 + \beta_2^2 + \beta_2^3 + \beta_2^4 + \dots) \dots \dots \dots (20)$$



Gambar 2. Diagram kisi Bewley

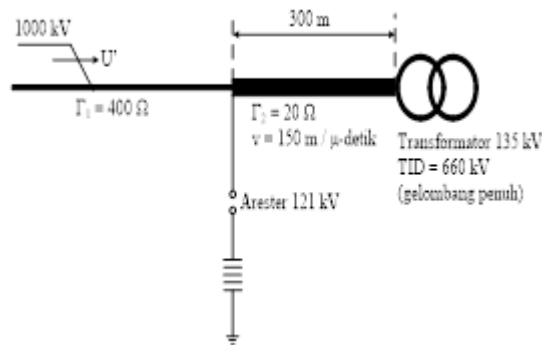
3. METODOLOGI PENELITIAN

Pengumpulan data yang didapat baik dari studi literatur maupun dari data yang ada di lapangan maupun dari steak holder yang terkait untuk kepentingan object penelitian ini sehingga dianalisa dan di olah menjadi kepentingan penelitian yang pada akhirnya akan di publikasikan.

4. ANALISA PEMBAHASAN

4.1. Data

Arester 121 kV di Gardu Induk Talang Ratu Palembang dipasang pada titik sambungan kawat transmisi udara dengan kabel pada suatu gardu 138 kV. Kawat transmisi yang memasuki gardu cukup terlindung. Terjadi lompatan api (flashover) pada saluran dan suatu surya dari 1000 kV, muka 2 mikrodetik dan ekor yang datar (panjang tak berhingga) memasuki gardu. Tegangan percikan arrester 390 kV dan tegangan setelah itu konstan (390 kV). Panjang kawat arester sama dengan nol dan untuk data yang lain lihat Gambar 3.



Gambar 3. Kabel penghubung antara kawat transmisi udara dengan transformator

4.2. Perhitungan

Waktu surya datang pada transformator

$$t = \frac{300}{150 \times 10^6} = 2 \mu \text{ detik}$$

Kosfisien refleksi dan refraksi adalah

$$\beta_1 = \left[\frac{\Gamma_2 - \Gamma_1}{\Gamma_2 + \Gamma_1} \right] = \frac{20 - 400}{20 + 400} = -0,9047$$

$$\beta_2 = \left[\frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{\Gamma_1 + \Gamma_2} \right] = \frac{400 - 20}{400 + 20} = 0,9047$$

$$\rho_1 = \left[\frac{2\Gamma_2}{\Gamma_2 + \Gamma_1} \right] = \frac{2 \times 20}{400 + 20} = 0,0952$$

$$\rho_2 = \left[\frac{2\Gamma_1}{\Gamma_2 + \Gamma_1} \right] = \frac{2 \times 400}{400 + 20} = 1,9048$$

Pertama-tama yang harus ditentukan adalah waktu pada saat mana arester mengalami percikan. Terlebih dahulu, misalkan arester tidak ada, maka tegangan pada titik sambung kabel-kabel udara adalah

Pada $t = 0 \mu\text{-detik}$; $U = 0$

Pada $t = 2 \mu\text{-detik}$; $U = 95,2 \text{ kV}$

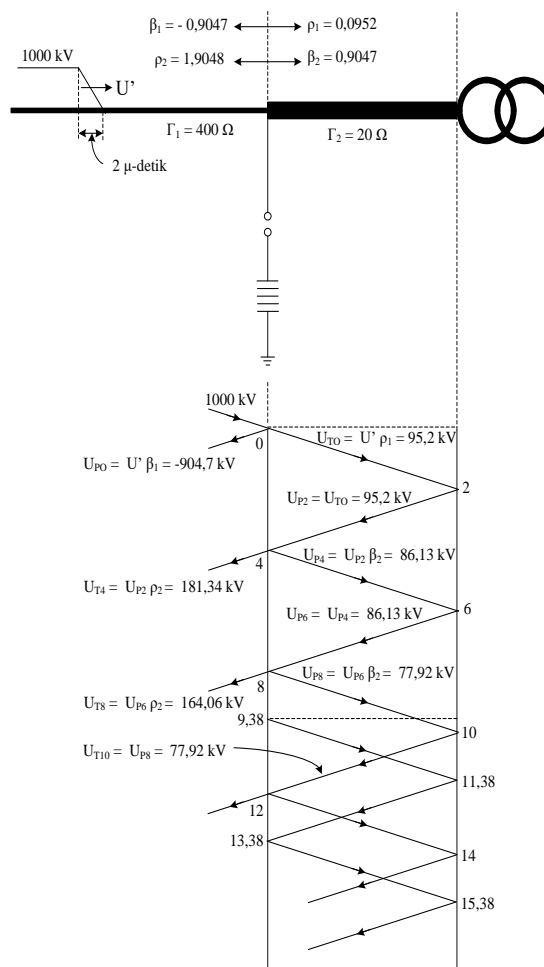
Pada $t = 4 \mu\text{-detik}$; $U = 95,2 \text{ kV}$

Pada $t = 6 \mu\text{-detik}$; $U = 95,2 + 181,34 = 276,54 \text{ kV}$

Pada $t = 8 \mu\text{-detik}$; $U = 276,54 \text{ kV}$

Pada $t = 10 \mu\text{-detik}$; $U = 276,54 + 86,13 + 77,92 = 440,59 \text{ kV}$

Tetapi pada $U = 390 \text{ kV}$, arester memercik (*sparkover*). Tegangan pada lokasi arester dan waktu untuk mencapainya dapat diperoleh dari diagram kisi Bewley seperti pada Gambar 4. Naik tegangan pada lokasi arester diberikan pada Gambar 5.



Gambar 4. Diagram Kisi Bewley

Dari Gambar 4.3 diperoleh t_{so} sebagai berikut

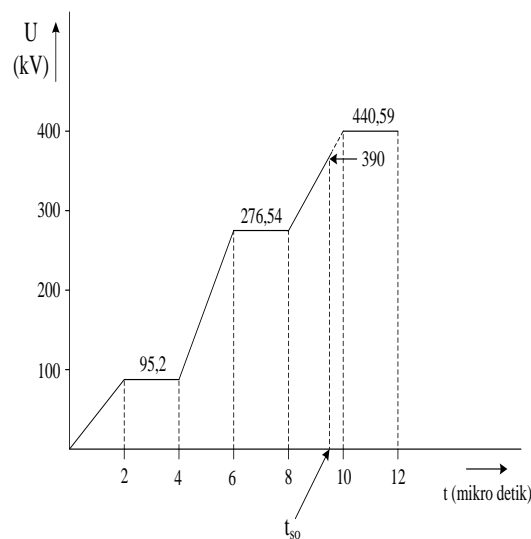
$$\frac{t-8}{10-8} = \frac{U-276,54}{440,59-276,54}$$

atau

$$t = \frac{2U + 759,32}{164,05}$$

pada $U = 390$ kV dan $t = t_{so}$, jadi

$$t = \frac{2 \times 390 + 759,32}{164,05} = 9,38 \mu\text{-detik}$$



Gambar 5. Tegangan pada Lokasi Arester

Tegangan transformator akibat surya

Pada $t = 0$; $U = 0$

Pada $t = 2 \mu\text{-detik}$; $U = 0$

Pada $t = 4 \mu\text{-detik}$; $U = 2 \cdot U' \cdot \rho_1 = 2 \cdot 1000 \cdot 0,0952 = 190,5$ kV

Pada $t = 6 \mu\text{-detik}$; $U = 190,5$ kV

Pada $t = 8 \mu\text{-detik}$; $U = 2 \cdot U' \cdot \rho_1 (1 + \beta_2) = 190,5(1 + 0,9047) = 363$ kV

Pada $t = 10 \mu\text{-detik}$; $U = 363$ kV

Sebelum mencapai $t = 12 \mu\text{-detik}$, arester memercik (*sparkover*) pada $t = 11,38 \mu\text{-detik}$ dan untuk menentukan tegangan pada transformator pada $t = 11,38 \mu\text{-detik}$, tentukan terlebih dahulu tegangan pada $t = 12 \mu\text{-detik}$, dimana $U = 2 \cdot U' \cdot \rho_1 (1 + \beta_2 + \beta_2^2) = 190,5(1 + 0,9047 + (0,9047)^2) = 519$ kV.

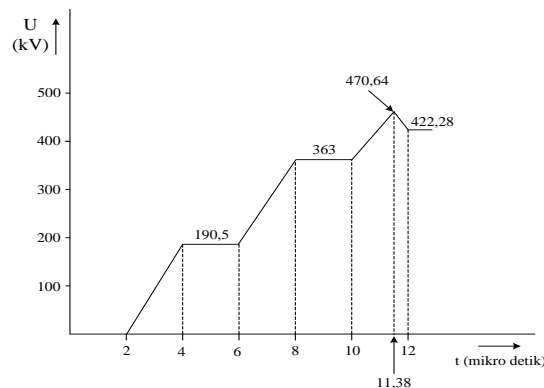
Persamaan garis linier antara titik koordinat (10, 363) dan (12, 519) adalah

$$U = \frac{156t - 834}{2}$$

Jadi tegangan transformator akibat surya pada $t = 11,38 \mu\text{-detik}$ adalah

$$U = \frac{156 \times 11,38 - 834}{2} = 470,64 \text{ kV}$$

Pada $t = 12 \mu\text{-detik}$, maka $U = 470,64 - (519 - 470,64) = 422,28 \text{ kV}$. Tegangan transformator akibat surya dapat dilihat seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Tegangan pada Jepitan Transformator

4.3. Analisa

Dari data jarak antara penempatan arester dan transformator adalah 300 meter, maka pada jarak ini masih cukup aman arester tersebut untuk melindungi transformator, karena TID transformator 660 kV, sedangkan tegangan surya yang timbul dari hasil perhitungan adalah 470,64 kV pada $t = 11,38 \mu\text{-detik}$.

5. PENUTUP

1. Dari data jarak antara penempatan arester dan transformator adalah 300 meter, maka pada jarak ini masih cukup aman arester tersebut untuk melindungi transformator, karena TID transformator 660 kV.
2. Tegangan surya yang timbul dari hasil perhitungan adalah 470,64 kV pada $t = 11,38 \mu\text{-detik}$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Grainger, John J., Stevenson, William D, JR., *Power System Analysis*, McGraw-Hill, 1994.
- [2] Hutahuruk, T.S., *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surya*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1989
- [3] Kind, Dieter., *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*, Terjemahan oleh Prof. Dr. Ing. K.T. Sirait, Penerbit ITB, 1993
- [4] Nagrath, I.J., Kothari, D.P., *Modern Power System Analysis*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1980.
- [5] Sirait, K.T., Zoro, Reynaldo., **Proteksi Sistem Tenaga Bagian I, Proteksi Terhadap Tegangan Lebih Pada Sistem Tenaga Listrik**, Penerbit ITB, 1986.
- [6] Soedibyono., **Gardu Induk**, Penerbit ITB, 1986.
- [7] Wang, Xi-Fan., Song, Yonghua., Irving, Malcolm., *Modern Power System Analysis*, Springer, 2008.
- [8] Weedy, B.M., *Electric Power System*, John Wiley & Sons, 1979.
- [9] Keputusan Direksi PT PLN (Persero) Nomor : 0520-2.K/DIR/2014 Tentang Himpunan Buku Pedoman Pemeliharaan Peralatan Primer Gardu Induk, Lampiran Dokumen Nomor : PDM/PGI/12 : 2014 Tentang Buku Pedoman Pemeliharaan Lightning arrester (LA).