

Penentuan Kapasitas Arus Surja Alat Proteksi Petir (SPDs) Yang Dibutuhkan Sebuah Gedung Yang Tersambar Petir Secara Langsung

Henry B.H. Sitorus¹, Yul Martin¹, Tito Wibowo²

1. Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung
2. Alumni Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung
hbh_sitorus@unila.ac.id

Abstrak—Apabila batang pengaman (*lightning rod*) yang ada di atas gedung tersambar petir secara langsung maka arus surja akan masuk melalui batang pengaman kemudian turun melalui konduktor penghubung tanah (*down conductor*) ke balok penghubung (*bonding bar*). Arus surja akan terdistribusi ke saluran-saluran yang terhubung dengan balok penghubung tersebut, antara lain: elektroda pentanahan, pipa air, sistem instalasi listrik, saluran telepon dan konduktor-konduktor lainnya yang ada pada gedung yang terhubung dengan balok penghubung. Distribusi arus surja pada suatu gedung adalah berbeda dengan gedung lainnya, tergantung kepada saluran yang ada pada gedung tersebut. Oleh karena itu, sebelum memasang SPDs pada sistem pelindung petir pada suatu gedung harus terlebih dahulu menghitung distribusi arus surja pada gedung tersebut untuk mengetahui arus surja maksimum yang mungkin dipikul SPDs. Dalam penelitian ini dilakukan penentuan kapasitas arus surja maksimum SPDs yang dibutuhkan setiap saluran yang ada pada suatu gedung dengan melakukan perhitungan distribusi arus surja. Variabel-variabel penyebab perubahan distribusi arus surja divariasikan untuk mendapatkan arus surja maksimum yang mungkin dipikul SPDs. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan program EMTP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa apabila gedung tersambar petir secara langsung, arus surja tidak semuanya langsung menuju pentanahan (*grounding*) tetapi akan terdistribusi ke saluran yang ada pada gedung tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari lima kasus yang ditinjau, arus surja terbesar yang masuk ke saluran daya adalah 7,29 kA dan arus surja yang melalui saluran telepon terbesar adalah 50,9 kA.

Kata kunci: Arus surja petir, SPDs, EMTP

Abstract—If lightning rod of building is directly struck by lightning, then lightning current will flow through lightning rod, down conductor and then

through bonding bar. Lightning current will be distributed to lines that are connected with the bonding bar, among other things: grounding electrode, plumbing, power line, telephone line and other conductors are connected to the bonding bar in the building. Lightning current distribution on a building is different from other buildings, depending on the existing conductor lines in the building. Therefore, before installing SPDs at the lightning protection system on a building must first calculate the lightning current distribution in the building to determine the maximum current surja be borne by SPDs. In this study conducted determining the maximum lightning current capacity of the SPDs that required every conductor lines in the building by calculating the lightning current distribution. Variables that cause changes on distribution lightning current was varied to obtain the maximum lightning current that bear by SPDs. The calculation is done by using EMTP program. The results showed that when the building directly struck by lightning, not all lightning current flow into the grounding but will be distributed to the existing conductor lines in the building. The results showed that out of five cases calculated, the largest lightning current flow into power lines are 7.29 kA and the largest lightning current through the telephone line is 50.9 kA.

Key words: Lightning current, SPDs, EMTP

A. Pendahuluan

Saat ini penggunaan Alat Pelindung Petir (*Surge Protective Devices = SPDs*) menjadi sangat penting dalam melindungi peralatan-peralatan sensitif dari bahaya tegangan lebih yang diakibatkan sambaran petir. Apabila batang pengaman (*lightning rod*) yang ada di atas gedung tersambar petir secara langsung maka arus surja akan masuk melalui batang pengaman kemudian turun melalui konduktor penghubung tanah (*down conductor*) ke balok penghubung (*bonding bar*) dan arus surja akan

Naskah ini diterima pada tanggal 28 Juni 2008, direvisi pada tanggal 15 Juli 2008 dan disetujui untuk diterbitkan pada tanggal 1 Agustus 2008.

terdistribusi ke saluran-saluran yang terhubung dengan balok penghubung tersebut, antara lain: elektroda pentanahan, pipa air, sistem instalasi listrik, saluran telepon dan konduktor-konduktor lainnya yang ada pada gedung yang terhubung dengan balok penghubung.

Dengan adanya pendistribusian arus ini mengakibatkan arus surja yang harus dipikul oleh SPDs untuk kasus satu gedung dengan gedung lainnya akan berbeda. Hal ini disebabkan karena distribusi arus surja yang terjadi pada satu gedung berbeda dengan gedung lainnya yang sangat tergantung kepada saluran-saluran yang ada pada gedung tersebut.

Oleh karena itu sebelum memasang SPDs pada sistem pelindung petir pada suatu gedung harus terlebih dahulu menghitung distribusi arus surja pada gedung tersebut. Dengan mengetahui distribusi arus maka arus surja maksimum yang mungkin dipikul SPDs dapat diketahui, yang pada akhirnya kapasitas arus surja maksimum SPDs yang harus dipasang dapat ditentukan. Dengan demikian kerusakan SPDs akibat kesalahan penentuan spesifikasi SPDs yang dibutuhkan dapat dihindari.

Dalam penelitian ini dilakukan penentuan kapasitas arus surja maksimum SPDs yang dibutuhkan setiap saluran yang ada pada suatu gedung dengan melakukan perhitungan distribusi arus surja. Variabel-variabel penyebab perubahan distribusi arus surja divariasikan untuk mendapatkan arus surja maksimum yang mungkin dipikul SPDs. Perhitungan akan dilakukan dengan bantuan program EMTP (*Electromagnetic Transient Program*).

Sistem pelindung petir terpasang merupakan sistem yang rumit yang terhubung dengan beberapa sistem di dalam gedung seperti sistem daya listrik,

saluran komunikasi, saluran air dan saluran konduktor lainnya yang ada pada gedung yang terhubung dengan balok penghubung (*bonding bar*). Sebelum SPDs dipasang pada suatu sistem pelindung petir yang ada pada suatu gedung mutlak diketahui spesifikasi teknis yang dibutuhkan. Sementara untuk melakukan pengujian langsung dengan memasukkan surja petir pada sistem pelindung petir hampir mustahil dilakukan. Oleh karena itu salah satu cara adalah melakukan perhitungan. Yang menjadi permasalahan bagaimana melakukan perhitungan dan penentuan arus surja maksimum SPDs.

Perhitungan dilakukan dengan membuat pemodelan sistem pelindung petir dan saluran-saluran yang terhubung dengannya dengan cara mengekivalenkan setiap komponen yang berada dalam sistem dengan nilai-nilai R (tahanan), L (induktansi) dan C (kapasitansi). Komponen-komponen yang berada dalam sistem antara lain adalah: batang pengaman (*lightning rod*), konduktor penghubung tanah (*down conductor*), elektroda pentanahan, SPDs, pipa air, saluran telepon, saluran daya listrik dan trafo tegangan menengah-rendah. Bentuk dan amplitudo arus surja yang memasuki sistem pelindung petir juga berpengaruh terhadap hasil akhir perhitungan. Nilai-nilai R, L dan C setiap komponen di atas dan bentuk arus surja menjadi variabel terikat dan besar arus surja yang mengalir dari tiap saluran menjadi variabel bebas dalam perhitungan. Nilai R, L dan C divariasikan untuk mendapatkan arus surja maksimum dari masing-masing saluran dengan asumsi nilai impedansi pentanahan ≤ 10 ohm.

B. Tinjauan Pustaka

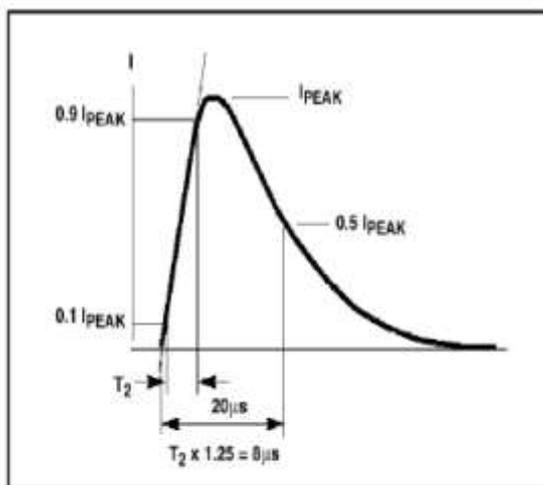
Sambaran Langsung

Sambaran petir secara langsung adalah sambaran pada peralatan proteksi eksternal gedung yaitu batang pengaman (*lightning*

rod) atau langsung mengenai gedung atau apabila menyambar saluran penghantar yang memasuki gedung tersebut. Ketika terjadi sambaran petir secara langsung arus mengalir ke balok penghubung melalui satu atau lebih konduktor penghubung tanah (*down conductor*) Dengan pendekatan probabilistik Hasse, et al [4] menyatakan bahwa hanya 50% arus surja melalui elektroda pentanahan sedangkan 50% lagi melalui konduktor-konduktor yang ada pada gedung yang terhubung dengan balok penghubung.

Rakotomalala et al. (1994) melakukan penelitian bahwa penghantar dan bagian berbahan logam diantaranya penghantar listrik, penghantar telepon, pipa gas, pipa air dan saluran data menjadi sarana tempat mengalirnya arus surja petir. Arus akan terdistribusi pada saluran-saluran ini dengan besar yang berbeda-beda.

Rakotomalala, et al menggunakan arus surja 100 kA 10/350 μ s, sementara menurut Hidayat et al.(1999) bentuk surja petir dapat bervariasi baik magnitudnya maupun waktu muka dan ekornya. Magnitud arus surja petir di Indonesia bervariasi dari 0,2 kA - 150 kA. Bentuk arus surja petir dapat digambarkan seperti pada gambar 1.



Gambar 1 Bentuk surja arus petir

2. Pemodelan

Perhitungan distribusi arus surja pada setiap saluran yang ada pada gedung yang tersambar petir secara langsung akan dilakukan dengan membuat model setiap komponen yang ada pada sistem proteksi petir tersebut. Komponen-komponen yang akan dimodelkan antara lain adalah:

1. Surja petir
2. Batang pengaman (*lightning rod*) dan konduktor penghubung tanah (*down conductor*)
3. Pentanahan (*grounding*)
4. Alat proteksi surja (*surge protective device = SPD*)
5. Pipa air
6. Transformator tegangan menengah-rendah
7. Saluran telepon
8. Saluran data

Model Surja Petir

Untuk tujuan analisis sambaran langsung, surja petir sebagai fungsi waktu dapat didefinisikan dengan bentuk gelombang sebagai berikut [2]:

$$I(t) = I(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \quad (1)$$

dimana: I = nilai arus puncak, α = koefisien karakteristik pertama arus, β = koefisien karakteristik kedua arus, dan t = waktu.

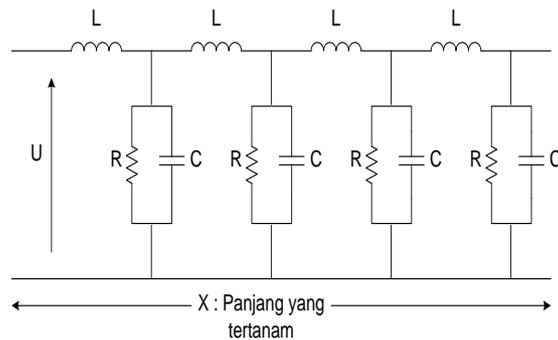
Model Batang Pengaman (*Lightning Rod*) dan Konduktor Penghubung Tanah (*Down Conductor*)

Ini akan dimodelkan dengan tahanan dan induktor yang terhubung seri sebagaimana dimodelkan oleh Rakotomala A, et al (1994). Resistansinya diberikan oleh persamaan:

$$R_{rod} = \rho \frac{L}{S} \quad (2)$$

dimana: ρ =resistifitas konduktor, L =panjang konduktor penghubung tanah, S =luas permukaan konduktor penghubung tanah.

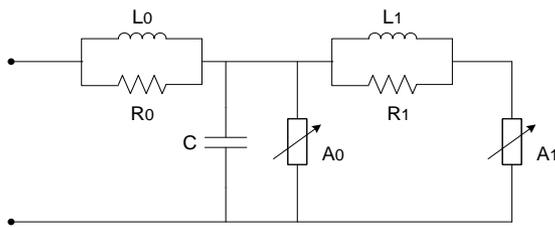
Model Pentanahan



Gambar 2 Rangkaian ekivalen pentanahan

Model Surge Protective Device (SPD)

Model SPD akan digunakan model EMTP [4] atau menurut IEEE [8]. Arestor ZnO dapat dimodelkan sebagai rangkaian *double arrestor*, dengan tambahan RLC. Model arestorer ZnO yang diajukan oleh IEEE W.G #.4.11 tahun 1992 [8] diperlihatkan pada gambar 3.



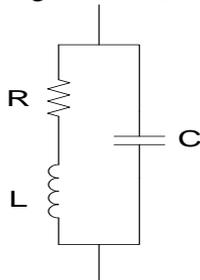
Gambar 3 Model Arestor ZnO oleh IEEE

Model Pipa Air

Model pipa air diasumsikan sama dengan model pentanahan [5,11].

Model Transformator Tegangan Menengah-Rendah

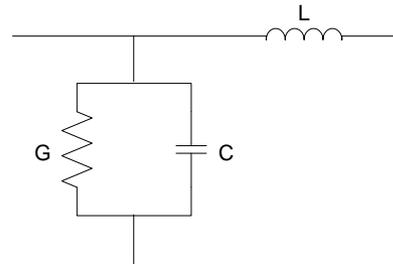
Model sekunder transformator tegangan rendah akan digunakan model yang sederhana pada gambar 4 [11]:



Gambar 4 Model transformator

Model Saluran Telepon

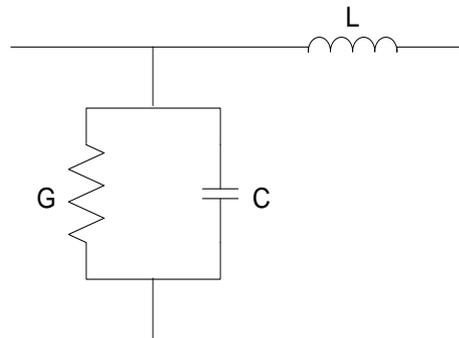
Model saluran telepon akan digunakan model yang sederhana seperti gambar 5 [14]:



Gambar 5 Model saluran telepon

Model Saluran Data

Sama halnya dengan saluran telepon, saluran data juga akan dimodelkan sebagai berikut [14]:



Gambar 6 Model saluran telepon

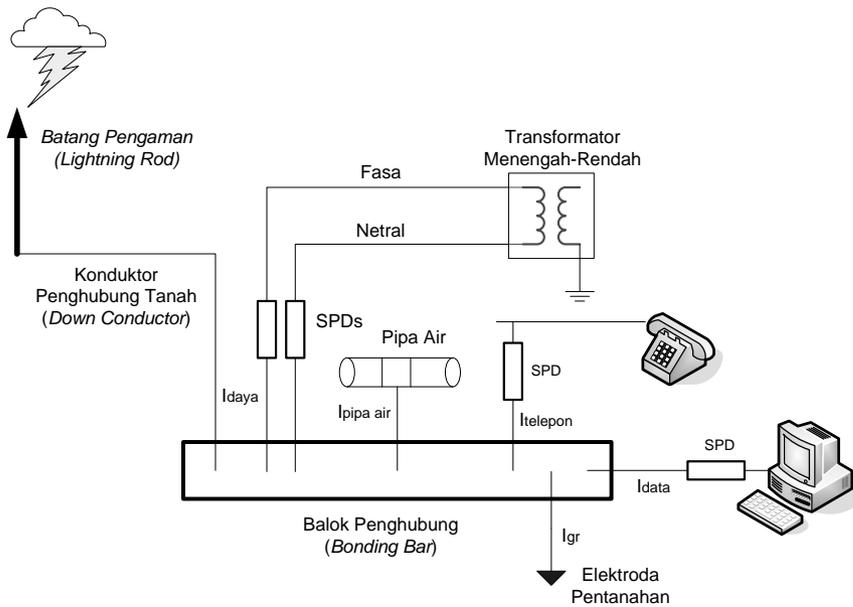
C. Metode Penelitian

Langkah penelitian yang dilakukan ada 2 tahapan yaitu:

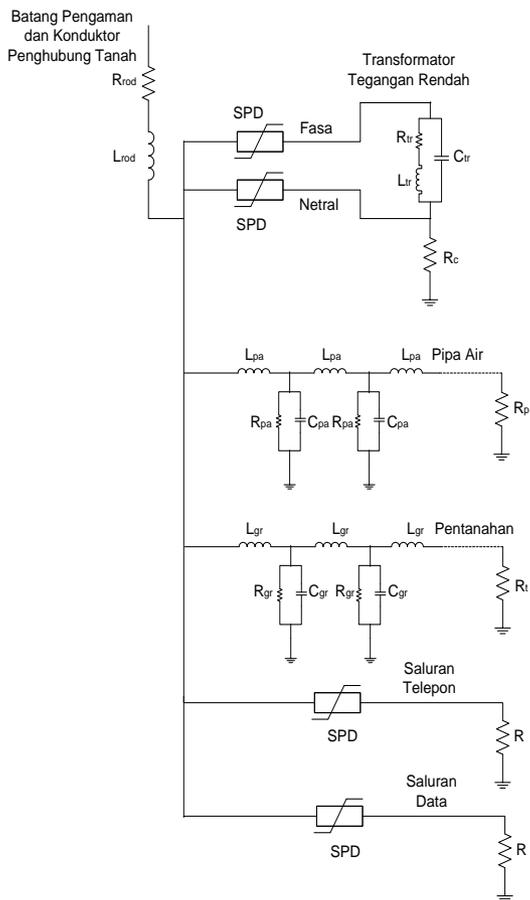
1. Menggambar rangkaian ekivalen gedung
2. Mensimulasikan distribusi arus pada gedung yang tersambar petir

Menggambar rangkaian ekivalen gedung

Distribusi arus surja pada gedung yang tersambar langsung dapat digambarkan dalam sebuah skema seperti pada gambar 7.



Gambar 7 Skema distribusi arus tersambar petir secara langsung



Gambar 8 Rangkaian ekuivalen sistem proteksi petir dalam sebuah gedung

Semua komponen-komponen yang ada pada skema sistem proteksi petir digambarkan dalam sebuah model. Komponen-komponen tersebut antara lain adalah: surja petir, batang pengaman (*lightning rod*) dan konduktor penghubung tanah (*down conductor*), pentanahan (*grounding*), alat proteksi petir (*surge protective device = SPD*), saluran daya listrik dan saluran telepon, pipa air, dan transformator tegangan menengah-rendah. Model masing-masing komponen ini digabungkan menjadi sebuah rangkaian ekuivalen sistem proteksi petir seperti gambar 8.

Selanjutnya rangkaian ekuivalen sistem proteksi petir seperti gambar di atas digambarkan dengan bantuan ATP Draw.

Simulasi dengan EMTP

Model sistem proteksi yang telah digambar dengan program ATP Draw selanjutnya dijalankan (*run*) dengan menggunakan EMTP. Parameter-parameter komponen yang ada pada sistem proteksi petir yang harus dimasukkan dalam program simulasi EMTP antara lain:

- Tahanan dan induktansi batang pengaman dan konduktor penghubung tanah: R_{rod} dan L_{rod} .
- Level proteksi SPD.
- Nilai tahanan, induktansi, dan kapasitansi transformator pengubah tegangan menengah ke rendah yang ada pada saluran daya listrik: R_{tr} , L_{tr} , dan C_{tr} .
- Nilai tahanan, induktansi, dan kapasitansi pipa air: R_{pa} , L_{pa} , dan C_{pa} .
- Nilai tahanan, induktansi, dan kapasitansi elektroda pentanahan: R_{gr} , L_{gr} , dan C_{gr} .
- Nilai tahanan, induktansi, dan kapasitansi saluran telepon: R_{tlp} , L_{tlp} , dan C_{tlp} .
- Nilai tahanan, induktansi, dan kapasitansi saluran data: R_{data} , L_{data} , dan C_{data} .

Variabel terikat yang akan divariasikan sebagai data masukan pada simulasi adalah:

- Amplitudo, waktu muka, dan waktu ekor arus surja yang memasuki sistem proteksi petir melalui batang pengaman: I_{surja} , dan T_1 dan T_2 .
- Panjang pipa air, pentanahan, saluran telepon, dan saluran data: l .

Sementara variabel bebas adalah distribusi arus surja yang mengalir pada setiap saluran yaitu: arus surja yang melalui saluran daya listrik (I_{daya}), arus surja yang melalui saluran pipa air (I_{pa}), arus surja yang masuk ke elektroda pentanahan (I_{gr}), arus surja yang melalui saluran telepon (I_{tlp}), dan arus surja yang melalui saluran telepon (I_{data}). Sebelum proses *running* terlebih dahulu dilakukan data entri pada program EMTP untuk nilai-nilai R , L , dan C dan arus surja petir (I_s). Demikian variabel input ini divariasikan sehingga semua kemungkinan distribusi arus yang terjadi diperoleh.

D. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pengambilan data dilakukan melalui simulasi rangkaian ekivalen sistem dengan menggunakan program EMTP (*Electromagnetic Transients Program*). Data yang didapat dari hasil simulasi adalah besarnya arus yang terdistribusi ke masing-masing saluran, yakni saluran daya, pipa air, pentanahan, saluran telepon, dan saluran data, dengan beberapa kondisi yakni:

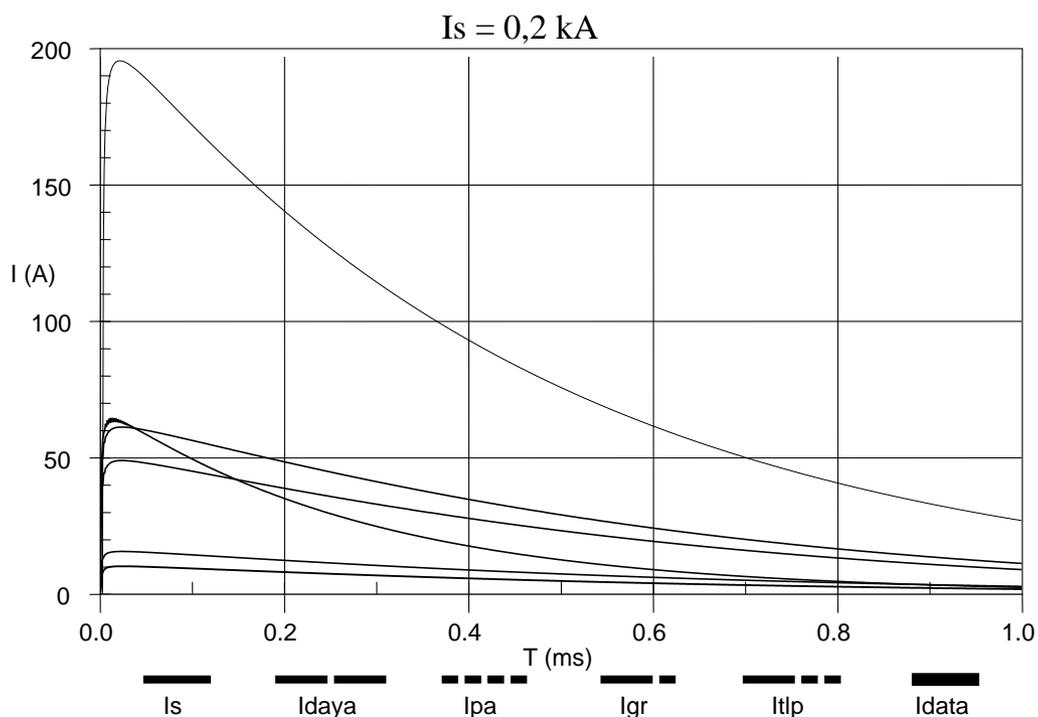
1. Perubahan magnitud arus surja.
2. Perubahan waktu muka dan waktu ekor gelombang arus surja.
3. Perubahan panjang pipa air.
4. Perubahan panjang elektroda pentanahan.
5. Perubahan panjang saluran telepon.
6. Perubahan panjang saluran data.
7. Kondisi gedung tanpa pipa air.
8. Kondisi gedung tanpa pipa air dan saluran data.
9. Kondisi gedung tanpa pipa air dan saluran telepon.
10. Kondisi gedung tanpa pipa air, saluran data, dan saluran telepon.
11. Kondisi gedung tanpa saluran data.
12. Kondisi gedung tanpa saluran telepon.
13. Kondisi gedung tanpa saluran data dan saluran telepon.

Pada simulasi ini, parameter tetap yang digunakan adalah:

- Tahanan dan induktansi batang pengaman dan konduktor penghubung tanah, R_{rod} sebesar 14 m Ω dan L_{rod} sebesar 20 μ H.
- Karakteristik SPD ditabelkan pada tabel 1.
- Tahanan transformator (R_{tr}) sebesar 0,1 Ω , induktansi transformator (L_{tr}) sebesar 0,1 μ H, dan kapasitansi transformator (C_{tr}) sebesar 1 nF.
- Tahanan pipa air (R_{pa}) sebesar 762,8 Ω /m, induktansi pipa air (L_{pa}) sebesar 1,5 μ H/m, dan kapasitansi pipa air (C_{pa}) sebesar 23,2 pF/m.

Tabel 1 Karakteristik V-I SPD.

A0		A1	
I (A)	V (kV)	I (A)	V (kV)
100	238,70	100	190,50
1000	260,40	1000	210,80
2000	269,70	2000	221,65
4000	279,00	4000	229,40
6000	282,10	6000	232,50
10000	294,50	10000	240,25
16000	310,00	16000	246,45
20000	325,50	20000	249,55

Gambar 9 Grafik distribusi arus saat arus surja (I_s) 0,2 kA.

- Tahanan elektroda pentanahan (R_{gr}) sebesar $190 \Omega/m$, induktansi elektroda pentanahan (L_{gr}) sebesar $1,2 \mu H/m$, dan kapasitansi elektroda pentanahan (C_{gr}) sebesar $46,3 pF/m$.
- Tahanan saluran telepon (R_{tlp}) sebesar $3,73 \times 10^{-4} \Omega/m$, induktansi saluran telepon (L_{tlp}) sebesar $0,31 \mu H/m$, dan kapasitansi saluran telepon (C_{tlp}) sebesar $55,5 pF/m$.
- Tahanan saluran data (R_{data}) sebesar $4,92 \times 10^{-4} \Omega/m$, induktansi saluran data (L_{data}) sebesar $0,62 \mu H/m$, dan kapasitansi saluran data (C_{data}) sebesar $51,5 pF/m$.

Perubahan magnitud arus surja

Pada kondisi ini, magnitud arus surja yang diberikan divariasikan menjadi 0,2 kA, 1 kA, 10 kA, dan 20 kA, dengan waktu muka (T_1) sebesar $19 \mu s$ dan waktu ekor (T_2) sebesar $485 \mu s$. Untuk distribusi arus surja

Tabel 2 Arus surja maksimum yang terdistribusi di masing-masing saluran untuk nilai arus surja yang berbeda.

	0,2 (kA)	1 (kA)	10 (kA)	20 (kA)
I_{dava}	0,065	0,323	3,227	6,454
I_{pa}	0,049	0,245	2,450	4,901
I_{gr}	0,061	0,306	3,063	6,126
I_{tlp}	0,016	0,078	0,785	1,569
I_{data}	0,010	0,051	0,513	1,026

di masing-masing saluran untuk sumber arus surja sebesar 0,2 kA digambarkan pada gambar 9. Sedangkan untuk distribusi arus surja di masing-masing saluran dengan sumber arus surja 1 kA, 10 kA, dan 20 kA ditabelkan pada table 2.

Dari tabel 2 dapat diperoleh persentasi besarnya arus yang terdistribusi di masing-masing saluran adalah:

$$\frac{I_{dava}}{I_s} = \frac{0,065}{0,2} = \frac{0,323}{1} = \frac{3,227}{10} = \frac{6,454}{20} \approx 0,323$$

atau 32,3 %

$$\frac{I_{pa}}{I_s} = \frac{0,049}{0,2} = \frac{0,245}{1} = \frac{2,450}{10} = \frac{4,901}{20} \approx 0,245$$

atau 24,5 %

$$\frac{I_{gr}}{I_s} = \frac{0,061}{0,2} = \frac{0,306}{1} = \frac{3,063}{10} = \frac{6,126}{20} \approx 0,306$$

atau 30,6 %

$$\frac{I_{tlp}}{I_s} = \frac{0,016}{0,2} = \frac{0,078}{1} = \frac{0,785}{10} = \frac{1,569}{20} \approx 0,078$$

atau 7,8 %

$$\frac{I_{data}}{I_s} = \frac{0,010}{0,2} = \frac{0,051}{1} = \frac{0,513}{10} = \frac{1,026}{20} \approx 0,051$$

atau 5,1 %

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa besarnya perbandingan antara arus yang terdistribusi di masing-masing saluran terhadap arus surja adalah sama untuk semua nilai magnitud arus surja yang diberikan. Hal ini dikarenakan parameter-

parameter setiap saluran yang digunakan adalah sama, baik pada saat magnitud arus surja sebesar 0,2 kA, 1 kA, 10 kA, maupun 20 kA.

Perubahan Waktu Muka (T_1) dan Waktu Ekor (T_2) Gelombang Arus Surja

Pada kondisi ini, waktu muka (T_1) gelombang arus surja divariasikan menjadi 10 μ s, 30 μ s, 50 μ s, dan 80 μ s. Dimana nilai magnitud arus dan waktu ekor (T_2) gelombang adalah sama yakni sebesar 20 kA dan 485 μ s, begitupula dengan parameter-parameter setiap saluran yang terpasang adalah sama untuk semua nilai waktu muka.

Dari tabel 3 terlihat bahwa perubahan waktu muka gelombang juga berpengaruh terhadap besarnya arus surja maksimum yang terdistribusi di masing-masing saluran. Untuk saluran daya semakin besar waktu muka gelombang atau semakin landai puncak gelombangnya, semakin kecil arus yang mengalir di saluran daya (I_s) tersebut. Sedangkan untuk arus yang mengalir di saluran pentanahan (I_{gr}), saluran telepon (I_{tlp}), dan saluran data (I_{data}) akan semakin meningkat seiring kenaikan waktu muka gelombang arus surja petir.

Tabel 3 Arus surja maksimum yang terdistribusi di masing-masing saluran untuk nilai waktu muka yang berbeda..

	10 (μs)	30 (μs)	50 (μs)	80 (μs)
I_{dava} (kA)	6,581	6,339	6,200	6,039
I_{pa} (kA)	4,932	5,062	4,990	5,062
I_{gr} (kA)	6,165	6,169	6,238	6,327
I_{tlp} (kA)	1,561	1,580	1,598	1,621
I_{data} (kA)	1,020	1,033	1,045	1,059

Tabel 4 Arus surja maksimum yang terdistribusi di masing-masing saluran untuk nilai waktu ekor yang berbeda.

	200 (μs)	350 (μs)	550 (μs)	700 (μs)
I_{dava} (kA)	6,419	6,438	6,461	6,477
I_{pa} (kA)	4,894	4,898	4,903	4,906
I_{gr} (kA)	6,117	6,122	6,128	6,132
I_{tlp} (kA)	1,567	1,568	1,569	1,571
I_{data} (kA)	1,025	1,025	1,026	1,027

Tabel 5 Arus surja maksimum yang terdistribusi di masing-masing saluran untuk nilai panjang pipa air yang berbeda.

	5 (m)	20 (m)	30 (m)	50 (m)
I_{dava} (kA)	5,192	7,340	7,693	8,001
I_{pa} (kA)	7,872	2,793	1,953	1,219
I_{gr} (kA)	4,919	6,983	7,325	7,624
I_{tlp} (kA)	1,260	1,789	1,877	1,953
I_{data} (kA)	0,824	1,169	1,227	1,277

Pada kondisi ini, waktu ekor (T_2) gelombang arus surja divariasikan menjadi 200 μs , 350 μs , 550 μs , dan 700 μs . Dengan nilai magnitud arus dan waktu muka (T_1) gelombang adalah sama yakni sebesar 20 kA dan 19 μs , begitupula dengan parameter-parameter setiap saluran yang terpasang adalah sama untuk semua nilai waktu ekor.

Berikut adalah grafik gelombang distribusi arus surja di masing-masing saluran untuk $T_2 = 200 \mu\text{s}$.

Dari tabel 4 dapat diamati bahwa perubahan waktu ekor (T_2) gelombang arus surja juga mempengaruhi besarnya arus surja yang terdistribusi namun tidak

signifikan, semakin besar waktu ekor gelombang semakin besar pula arus surja di masing-masing saluran.

Perubahan Panjang Pipa Air

Salah satu saluran yang biasanya terdapat pada sebuah gedung adalah pipa air. Pipa air juga memungkinkan arus surja mengalir padanya. Oleh karena itu untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pipa air terhadap distribusi arus surja, maka pada penelitian ini dilakukan simulasi dimana panjang pipa air divariasikan menjadi 5 meter, 20 meter, 30 meter, dan 50 meter.

Dari tabel 5 dapat diamati bahwa ketika pipa air memiliki panjang 5 meter atau

Tabel 6 Arus surja maksimum yang terdistribusi di masing-masing saluran untuk nilai panjang elektroda pentanahan yang berbeda.

	5 (m)	20 (m)	30 (m)	50 (m)
I_{dava} (kA)	4,963	7,602	8,082	8,513
I_{pa} (kA)	3,751	5,789	6,162	6,496
I_{gr} (kA)	9,378	3,618	2,567	1,624
I_{tlp} (kA)	1,201	1,854	1,973	2,080
I_{data} (kA)	0,785	1,212	1,290	1,359

Tabel 7 Arus surja maksimum yang terdistribusi di masing-masing saluran untuk nilai panjang saluran telepon yang berbeda.

	30 (m)	50 (m)	70 (m)	90 (m)
I_{dava} (kA)	6,212	6,332	6,419	6,485
I_{pa} (kA)	4,718	4,808	4,874	4,925
I_{gr} (kA)	5,897	6,009	6,093	6,156
I_{tlp} (kA)	2,256	1,921	1,671	1,479
I_{data} (kA)	0,988	1,007	1,020	1,031

lebih kecil dari panjang elektroda pentanahan, arus yang mengalir pada pipa air jauh lebih besar dibandingkan dengan arus pada saluran daya dan pentanahan. Hal ini lebih disebabkan oleh kecilnya resistansi pipa air yang sebanding dengan panjangnya. Namun ketika panjang pipa air lebih besar dari panjang elektroda pentanahan, dalam hal ini lebih dari 10 meter, arus yang mengalir padanya jauh lebih kecil dibandingkan arus di kedua saluran tersebut. Untuk arus yang mengalir di saluran telepon dan data, nilainya semakin meningkat seiring bertambahnya panjang pipa air.

Perubahan Panjang Elektroda Pentanahan

Pada kondisi ini panjang elektroda pentanahan divariasikan menjadi 5 meter, 20 meter, 30 meter, dan 50 meter. Tabel 6 menunjukkan distribusi arus surja maksimum yang mengalir di masing-masing saluran. Sama halnya dengan penambahan panjang pipa air, penambahan panjang elektroda pentanahan juga mempengaruhi distribusi arus surja. Ketika panjang elektroda pentanahan bernilai 5

meter atau lebih kecil dari panjang pipa air, maka arus yang mengalir padanya jauh lebih besar dibandingkan arus yang mengalir pada pipa air. Hal ini disebabkan rendahnya nilai resistansi elektroda pentanahan. Sedangkan apabila elektroda pentanahan diperpanjang lebih dari 10 meter, maka sebaliknya arus yang mengalir bernilai jauh lebih kecil dibandingkan arus yang mengalir di saluran daya dan pipa air. Sementara itu, arus yang mengalir pada saluran telepon dan data juga ikut meningkat seiring bertambahnya panjang elektroda pentanahan.

Perubahan Panjang Saluran Telepon

Pada penelitian ini, sebuah SPD dipasang pada saluran telepon guna memberikan proteksi terhadap telepon itu sendiri dan penggunanya. SPD yang terpasang padanya kemudian dihubungkan ke pentanahan. Selain SPD, panjang saluran telepon juga memberikan peranan terhadap distribusi arus surja di saluran lainnya.

Dengan distribusi arus surja pada masing-masing saluran dengan perubahan panjang telepon ditabelkan pada tabel 7.

Pertambahan panjang saluran telepon juga mempengaruhi distribusi arus surja di saluran lainnya. Arus surja yang mengalir pada saluran telepon berkurang sekitar 15 % untuk setiap pertambahan panjang saluran. Sedangkan arus surja yang mengalir di keempat saluran lainnya semakin meningkat.

Perubahan Panjang Saluran Data

Sama halnya dengan saluran telepon, saluran data yang terhubung oleh SPD divariasikan panjangnya menjadi 30 meter, 50 meter, 70 meter, dan 90 meter. Dengan distribusi arus surja 20 kA, distribusi arus

surja pada masing-masing saluran yang ada pada gedung ditabelkan pada tabel 8.

Dari tabel 8 dapat diamati bahwa bertambahnya panjang saluran data akan mengurangi besarnya arus surja yang mengalir padanya. Hal ini disebabkan oleh nilai konduktansi dari saluran yang semakin rendah seiring bertambahnya panjang saluran. Sebaliknya, untuk arus surja yang mengalir di saluran daya, pipa air, pentanahan, dan saluran telepon semakin meningkat dengan bertambahnya panjang saluran data tersebut.

Tabel 8 Arus surja maksimum yang terdistribusi di masing-masing saluran untuk nilai panjang saluran data yang berbeda.

	30 (m)	50 (m)	70 (m)	90 (m)
I_{dava} (kA)	5,883	6,342	6,423	6,480
I_{pa} (kA)	4,447	4,815	4,878	4,921
I_{gr} (kA)	5,559	6,018	6,097	6,152
I_{tjp} (kA)	1,423	1,542	1,562	1,576
I_{data} (kA)	2,851	1,361	1,118	0,948

Tabel 9 Arus surja maksimum yang terdistribusi di masing-masing saluran saat kondisi gedung tanpa pipa air.

	$I_s = 20kA$	
	Dengan Pipa Air	Tanpa Pipa Air
I_{dava} (kA)	6,454	8,513
I_{pa} (kA)	4,901	-
I_{gr} (kA)	6,126	8,119
I_{tjp} (kA)	1,569	2,080
I_{data} (kA)	1,026	1,360

Tabel 10 Arus surja maksimum yang terdistribusi di masing-masing saluran saat kondisi gedung tanpa pipa air dan saluran data.

	$I_s = 20 kA$	
	Dengan Pipa Air dan Saluran Data	Tanpa Pipa Air dan Saluran Data
I_{dava} (kA)	6,454	9,148
I_{pa} (kA)	4,901	-
I_{gr} (kA)	6,126	8,715
I_{tjp} (kA)	1,569	2,233
I_{data} (kA)	1,026	-

Tabel 11 Arus surja maksimum yang terdistribusi pada masing-masing saluran saat kondisi gedung tanpa pipa air dan saluran telepon.

	$I_s = 20 \text{ kA}$	
	Dengan Pipa air dan Saluran Telepon	Tanpa Pipa air dan Saluran Telepon
$I_{\text{daya}} \text{ (kA)}$	6,454	9,509
$I_{\text{pa}} \text{ (kA)}$	4,901	-
$I_{\text{gr}} \text{ (kA)}$	6,126	9,065
$I_{\text{tlp}} \text{ (kA)}$	1,569	-
$I_{\text{data}} \text{ (kA)}$	1,026	1,519

Kondisi Gedung Tanpa Pipa Air

Pada kondisi ini diasumsikan bahwa pada suatu gedung tidak terdapat pipa air. Sehingga pada gedung tersebut hanya terdapat saluran daya, saluran pentanahan dengan panjang 10 meter, saluran telepon dengan panjang 80 meter dan saluran data dengan panjang 80 meter.

Dari tabel 9 terlihat bahwa ketika suatu gedung tersambar petir 20 kA dengan kondisi tidak terdapat pipa air, maka arus surja yang terdistribusi di masing-masing saluran meningkat yakni 32 % untuk saluran daya, 32,5 % untuk saluran pentanahan, 32,5% untuk saluran telepon, dan 32,6 % untuk saluran data. Atau rata-rata meningkat 32 % untuk semua saluran dibandingkan arus surja yang terdistribusi ketika kondisi gedung terdapat pipa air.

Kondisi Gedung Tanpa Pipa Air dan Saluran Data

Untuk kondisi ini gedung diasumsikan tidak memiliki pipa air dan saluran data sehingga hanya terdapat saluran daya, pentanahan, dan saluran telepon. Dengan distribusi arus surja 20 kA distribusi arus pada masing-masing saluran yang ada ditabelkan pada tabel 10. Dari tabel 10 dapat diamati bahwa arus surja yang terdistribusi meningkat ketika tidak terdapatnya pipa air dan saluran data. Dibandingkan kondisi dimana suatu gedung memiliki kelima saluran tersebut, arus yang mengalir pada saluran daya meningkat 41,7 %, saluran pentanahan

meningkat sekitar 42,2 %, dan saluran telepon meningkat 42,3 %, atau rata-rata meningkat sekitar 42 % untuk ketiga saluran tersebut.

Kondisi Gedung Tanpa Pipa air dan Saluran Telepon

Untuk kondisi ini, diasumsikan bahwa tidak ada pipa air dan saluran telepon pada suatu gedung. Berikut merupakan distribusi arus surja yang terjadi. Dengan arus surja 20 kA, arus surja mengalir pada masing-masing saluran disajikan pada tabel 11. Dari tabel 11 tersebut dapat diamati bahwa pada kondisi ini, arus yang mengalir pada saluran daya, pipa air, dan telepon juga meningkat berturut-turut menjadi 47,3 %, 47,9 %, dan 48,1 % dari kondisi dimana gedung memiliki semua saluran.

Kondisi Gedung Tanpa Pipa air, Saluran Telepon, dan Saluran Data

Pada kondisi ini, gedung diasumsikan tidak memiliki pipa air, saluran data, dan saluran telepon. Dengan arus surja 20 kA, distribusi arus surja yang mengalir pada masing-masing saluran pada gedung ditabelkan 12.

Dari tabel 12 terlihat bahwa arus surja yang mengalir di saluran daya dan pentanahan meningkat menjadi sekitar 60 %. Dengan besarnya arus yang terdistribusi di kedua saluran tersebut hampir sama atau terdistribusi 50 % ke saluran daya dan 50 % ke saluran pentanahan.

Kondisi Gedung Tanpa Saluran Data

Pada kondisi ini simulasi dilakukan dimana gedung tidak memiliki saluran data. Dengan panjang pipa air adalah 10 meter, pentanahan 10 meter, dan telepon

80 meter. Dengan arus surja 20 kA, distribusi arus surja pada masing-masing saluran disajikan pada tabel 13.

Tabel 12 Arus surja maksimum yang terdistribusi di masing-masing saluran saat kondisi gedung tanpa pipa air, saluran telepon, dan saluran data.

	$I_s = 20 \text{ kA}$	
	Dengan Pipa air, Saluran Telepon, dan Saluran Data	Tanpa Pipa air, Saluran Telepon, dan Saluran Data
$I_{\text{dava}} \text{ (kA)}$	6,454	10,325
$I_{\text{pa}} \text{ (kA)}$	4,901	-
$I_{\text{gr}} \text{ (kA)}$	6,126	9,817
$I_{\text{tlp}} \text{ (kA)}$	1,569	-
$I_{\text{data}} \text{ (kA)}$	1,026	-

Tabel 13 Arus surja maksimum yang terdistribusi di masing-masing saluran saat kondisi gedung tanpa saluran data.

	$I_s = 20 \text{ kA}$	
	Dengan Saluran Data	Tanpa Saluran Data
$I_{\text{dava}} \text{ (kA)}$	6,454	6,821
$I_{\text{pa}} \text{ (kA)}$	4,901	5,167
$I_{\text{gr}} \text{ (kA)}$	6,126	6,459
$I_{\text{tlp}} \text{ (kA)}$	1,569	1,654
$I_{\text{data}} \text{ (kA)}$	1,026	-

Tabel 14 Arus surja maksimum yang terdistribusi di masing-masing saluran saat kondisi gedung tanpa saluran telepon.

	$I_s = 20 \text{ kA}$	
	Dengan Saluran Telepon	Tanpa Saluran Telepon
$I_{\text{dava}} \text{ (kA)}$	6,454	7,019
$I_{\text{pa}} \text{ (kA)}$	4,901	5,319
$I_{\text{gr}} \text{ (kA)}$	6,126	6,649
$I_{\text{tlp}} \text{ (kA)}$	1,569	-
$I_{\text{data}} \text{ (kA)}$	1,026	1,114

Tabel 15 Arus surja maksimum yang terdistribusi di masing-masing saluran saat kondisi gedung tanpa saluran telepon dan saluran data.

	$I_s = 20 \text{ kA}$	
	Dengan Saluran Telepon dan Saluran Data	Tanpa Saluran Telepon dan Saluran Data
$I_{\text{dava}} \text{ (kA)}$	6,454	7,466
$I_{\text{pa}} \text{ (kA)}$	4,901	5,634
$I_{\text{gr}} \text{ (kA)}$	6,126	7,043
$I_{\text{tlp}} \text{ (kA)}$	1,569	-
$I_{\text{data}} \text{ (kA)}$	1,026	-

Dari tabel 13 dapat diamati bahwa apabila tidak terdapat saluran data pada gedung, juga dapat meningkatkan arus surja yang mengalir di masing-masing saluran. Di saluran daya arus surja meningkat 5,7 %, pipa air meningkat 5,4%, saluran pentanahan meningkat 5,8 %, dan saluran telepon meningkat 5,4 %.

Kondisi Gedung Tanpa Saluran Telepon

Pada kondisi ini, diasumsikan gedung tidak memiliki saluran telepon. Dengan panjang pipa air adalah 10 meter, pentanahan 10 meter, dan data 80 meter.

Dengan arus surja 20 kA, distribusi arus surja mengalir pada masing-masing saluran pada gedung ditabelkan pada tabel 14. Dari tabel 14 tersebut dapat diamati bahwa ketidakberadaan saluran telepon pada suatu gedung dapat meningkatkan arus surja yang terdistribusi di saluran lainnya. Pada saluran daya meningkat 8,7 %, pipa air meningkat 8,5 %, saluran pentanahan meningkat 8,5 %, dan saluran data meningkat 8,6 %.

Kondisi Gedung Tanpa Saluran Telepon dan Saluran Data

Pada kondisi ini diasumsikan tidak ada saluran telepon dan saluran data pada suatu gedung. Dengan arus surja maksimum yang mengalir di masing-masing saluran adalah pada tabel 4.15 berikut.

Dari tabel 15 terlihat bahwa apabila saluran telepon dan saluran data ditiadakan pada suatu gedung, maka yang terjadi adalah peningkatan arus surja yang mengalir di ketiga saluran lainnya. Arus surja yang terdistribusi di saluran daya, pipa air, dan saluran pentanahan berturut-turut meningkat 15,7 %, 14,9 %, dan 14,9 %.

Data yang diperlukan untuk menentukan kapasitas arus surja yang dibutuhkan oleh

SPDs pada suatu gedung adalah arus surja maksimum yang mengalir di saluran daya, saluran telepon, dan saluran telepon pada saat gedung memiliki kondisi 7 sampai 13. Sehingga didapat kapasitas SPDs yang harus dipasang pada ketiga saluran tersebut adalah pada tabel 16. Melihat dari magnitud arus surja yang terdistribusi, maka SPD yang kapasitas arusnya paling besar diperlukan adalah pada saat kondisi gedung tidak memiliki saluran telepon dan saluran data yakni sebesar 10,325 kA yang dipasang pada saluran daya.

Tabel 16 Arus surja maksimum yang terdistribusi di masing-masing saluran untuk menentukan kapasitas SPDs yang harus dipasang.

Kondisi	SPD Saluran Daya (kA)	SPD Saluran Telepon (kA)	SPD Saluran Data (kA)
7	8,513	2,080	1,360
8	9,148	2,233	-
9	9,509	-	1,519
10	10,325	-	-
11	6,821	1,654	-
12	7,019	-	1,114
13	7,466	-	-

E. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan, dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. Apabila magnitud arus surja meningkat maka arus surja yang terdistribusi pada masing-masing saluran, namun persentasi distribusi arusnya dapat dikatakan hampir sama.
2. Panjang pipa air berpengaruh terhadap besarnya arus yang mengalir pada pipa air tersebut. Semakin panjang pipa air maka arus surja yang mengalir pada pipa tersebut semakin kecil.
3. Apabila panjang elektroda pentanahan lebih besar dibandingkan panjang pipa

air, maka arus yang mengalir pada saluran pentanahan akan lebih kecil dibandingkan arus pada pipa air.

4. Arus surja yang mengalir pada saluran telepon berkurang sekitar 15 % untuk setiap pertambahan panjang saluran.
5. Bertambahnya panjang saluran data akan mengurangi besarnya arus surja yang mengalir padanya.
6. Kapasitas arus surja SPDs yang paling besar diperlukan adalah ketika suatu gedung tidak memiliki pipa air, saluran telepon, dan saluran data.

Daftar Pustaka

- [1]. Adams, J. Maxwell. 1997. *Electrical Safety, A Guide to The Causes and Prevention of Electrical Hazards*. The Institution of Electrical Engineers. London.
- [2]. Andersen, R.B. and A.J. Erikson. 1980. *Lightning Parameters for Engineering Application*. Electra, pp. 65-102.
- [3]. Chamberlain, Diane, and Eric Hallman. *Lightning Protection for Farms*. Media Services, Cornell University. New York.
- [4]. Domnel, H.W. 1986. *EMTP Theory Book*. Bonneville.
- [5]. Gupta, B.R. and B. Thapar. 1980. *Impulse Impedance of grounding Grids*. IEEE Trans. Power Appar. And Syst. PAS-99, pp. 1652-1660.
- [6]. Hassie, P., J. Wiesinger, and W. Zischank. 1990. *Ableiter fur den Blitzschutz-Potentialausgleich und die Isolationskoordination in Neiderspannungsanlagen*. 20th ICPI, Interlaken, Ref 7.3.
- [7]. Hidayat S., K.T. Sirait, P. Pakpahan, M. Ishii, and J. Hojo. 1999. *Lightning Characteristics on Jave Island, Observed by Lightning Location Network*. Conference Publication No. 467, IEE, pp.2.192. S9-2.195.S9.
- [8]. IEEE WG 3.4.11. 1992. *Modeling of Metal Oxide Surge Arresters*. IEEE Trans. on Pow. Delivery. 7(1), 1992, 302-309.
- [9]. National Weather Service. 2003. *Lightning Protection, Grounding, Bonding, Shielding, and Surge Protection Requirements*. U.S. Department of Commerce. USA.
- [10]. Poole, C. Dennis, and Trevor E. Marks. 1994. *Electrical Distribution in Buildings*. The University Press, Cambridge. UK.
- [11]. Rakotomalala A, et al. 1994. *Lightning Distribution Through Earthing Systems*. IEEE Trans. Power Appar. And Syst. Pp. 419-423.
- [12]. Richard L. Cohen, et al. 2005. *How to Protect Your House and Its Contents from Lightning: Surge Protection: IEEE Guide for Surge Protection of Equipment Connected to AC Power and Communication Circuits*. IEEE Press. USA.
- [13]. ----- . *Kekuatan Tersembunyi Petir*. www.harunyahya.com
- [14]. ----- . *UTP High Speed Data/LAN Type*. www.digikey.com