

**ANALISA SISTEM PROTEKSI TERHADAP PETIR (SPP)
PADA GEDUNG BERTINGKAT DAN PENGARUHNYA
TERHADAP PERALATAN ELEKTRONIKA
DI GEDUNG PENDIDIKAN POLSRI**

Nurhaida
Staff Pengajar Teknik Elektro Prodi Teknik Listrik
Politeknik Negeri Sriwijaya
Nurhaida@Polsri.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini melakukan analisa SPP pada gedung bertingkat dan pengaruh induksi petir terhadap perangkat elektronika yang berada didalam gedung. Pengujian simulasi jaringan listrik, rangkaian elektronika, dan sistem proteksi terhadap petir dari *Program Alternative Transient (ATP)* dieksekusi dengan menggunakan program EMTP (*Electromagnetic Transient Program*). Hasil pengujian menunjukkan arus induksi petir cenderung mengalir pada resistansi pentanahan jaringan listrik yang semakin kecil sehingga arus induksi yang mengalir ke jaringan listrik dan perangkat elektronik berkurang yang mengakibatkan tegangan lebih transien yang terjadi pada perangkat elektronik menurun. Saat terjadi induksi petir dengan arus puncak impuls petir $I_o=100$ kA dan bentuk gelombang 10/350 μ s untuk kondisi tanah lembab ($\rho_g=100$ Ω cm) dan basah ($\rho_g=30$ Ω cm), perangkat *sound system* yang berada di lantai dasar dan *personal computer* yang berada di lantai 1 dengan resistansi pentanahan jaringan listrik 2~10 Ω menghasilkan tegangan lebih transien sebesar 714,49 V~1105,60 V yang dapat merusakkan perangkat karena melampaui batas maksimum standar eropa.

Kata kunci : Sambaran petir tidak langsung, peralatan tegangan rendah dan elektronik, ground potential rise, sambaran induksi petir, ATP/EMTP.

ABSTRACT

This study analyzes the SPP in buildings and lightning induction effect on electronic devices that are in the building. Testing of electrical network simulation, electronic circuits, and systems of protection against lightning Alternative Transient Program (ATP) is executed by using a program EMTP (Electromagnetic Transient Program). The test results showed the lightning induced currents tend to flow in the electrical resistance of earthing networks are getting smaller so the induced current flowing into the power grid and electronic devices is reduced resulting in overvoltage transients that occur in an electronic device decreases. During a peak current induced by lightning lightning impulse $I_o = 100$ kA and waveform 10/350 μ s for moist soil conditions (ρ_g cm $\Omega = 100$) and wet (ρ_g cm $\Omega = 30$), the sound system is in the ground floor and a personal computer located on the 1st floor with the power grid grounding resistance Ω 10 ~2 generate transient voltage of 714.49 V 1105,60~V which can damage the device because it exceeds the maximum limit of the european standards.

Keywords: Indirect lightning strikes, low voltage equipment and electronics, ground potential rise, a bolt of lightning induction, ATP / EMTP.

1.PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Karena lahan yang semakin sempit maka pembangunan gedung bertingkat adalah solusinya meskipun rawan terhadap gangguan alam karena letak geografisnya.

Salah satu gangguan alam adalah sambaran petir , langsung maupun tidak langsung akan merusak gedung dan isinya termasuk peralatan elektronika didalamnya.Sambaran tidak langsung atau sambaran

induksi merupakan sambaran di titik lain yang letaknya jauh tetapi obyek terkena pengaruh – pengaruh dari sambaran sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada obyek tersebut.

Untuk melindungi dan mengurangi dampak kerusakan akibat sambaran petir maka dipasang system penangkal petir beserta pentanahannya.

Simulasi EMTP digunakan untuk mengetahui besar tegangan dan arus yang diterima

peralatan elektronika pada Gedung Pendidikan Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang.

1.2 Tujuan dan Manfaat

Tujuan :

- Dapat mensimulasikan tegangan induksi akibat sambaran petir pada Gedung Pendidikan Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang.
- Dapat menghitung dan menganalisa jumlah gangguan akibat sambaran petir.

Manfaat :

Pihak Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang dapat mengetahui keandalan system proteksi Gedung Pendidikan Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang terhadap sambaran petir untuk mengamankan peralatan elektronika yang ada didalamnya.

1.3 Permasalahan

Gedung Pendidikan Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang terdiri dari lima tingkat, masing-masing lantai ada yang berfungsi sebagai aula, perpustakaan, ruang kuliah dan ruang ICT server. Gedung ini berisi peralatan elektronika yang sensitive terhadap kenaikan tegangan atau arus antara lain computer, tv, AC, telephone socket, data socket dan server dan lift.

Berdasarkan pada permasalahan tersebut maka diketahui pengaruh sambaran petir pada gedung tersebut khususnya sambaran tidak langsung terhadap perangkat elektronika.

1.4 Metode Pembahasan

1. Peninjauan langsung ke lapangan dan pengambilan data pada Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang.
2. Membuat model jaringan listrik, rangkaian elektronika dan system proteksi terhadap petir yang terdapat pada gedung Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang.
3. Membuat simulasi yang digambarkan pada program alternative transien (ATP)
4. Hasil dari simulasi selanjutnya di eksekusi dengan menggunakan *electromagnetic Transient Program* (EMTP) dan dianalisa semua perangkat elektronik tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Defenisi

Petir merupakan suatu proses alam yang diawali dengan mengumpulnya muatan di awan, kemudian muatan ini mengalami pemisahan antara muatan negatif dan muatan positif sehingga timbul medan listrik. Kalau proses pemisahan muatan ini terus berlangsung akan mengakibatkan medan listrik yang timbul semakin besar.

Jika medan listrik ini telah melebihi medan tembus udara maka akan terjadi pelepasan muatan listrik di udara antara awan – awan atau antara awan

dan bumi, peristiwa inilah yang disebut dengan petir (T.S. Hutauruk 1991).

2.2. Mekanisme Sambaran Petir

Menurut D.V. Razevig (1995), Oleh karena adanya pergerakan elektron maka terjadi proses ionisasi udara yang berasal dari tumbukan ion – ion negatif. Adanya proses ionisasi menimbulkan terjadinya serabut cahaya yang berkumpul membentuk suatu aliran (*streamer*). Dikedua ujung aliran ini terdapat medan listrik yang sangat kuat. Ujung bagian atas menarik electron negative, sedang bagian bawah memberikan electron tersebut untuk memperpanjang aliran ke tanah.

Setelah pergerakan aliran ini mencapai batas dimana telah terjadi tegangan tembus udara antara bumi dan ujung aliran ini maka terjadilah yang disebut dengan sambaran petir.

2.3. Peralatan Sensitif Terhadap Surja

Menurut Standar IEC-6-1312 (1995), Pada dasarnya peralatan listrik dapat dibedakan menjadi 2 kelompok besar yaitu:

- Tanpa menggunakan komponen semikonduktor.
- Menggunakan komponen semikonduktor.

Komponen semikonduktor adalah komponen elektronika yang pada umumnya merupakan bagian dari perangkat pengontrol atau pengubah sistem daya (konverter). Komponen semikonduktor dapat berupa dioda, thyristor, transistor, integrated circuit. Kelompok peralatan listrik yang tidak menggunakan semikonduktor misalnya: pompa air, vacuum cleaner, rice cooker, mixer dan sebagainya. Kelompok peralatan listrik yang menggunakan komponen semikonduktor misalnya: komputer, televisi, radio, air condition yang menggunakan kontrol elektronik dan sebagainya. Kelompok pertama, yaitu peralatan listrik yang tidak menggunakan komponen semikonduktor lebih tahan terhadap surja petir. Dalam intensitas arus maksimum tertentu, kerusakan akan terjadi pada isolasi. Belitan dalam motor listrik akan terbakar akibat tidak tahan terhadap tingginya tegangan yang mengenainya. Sedangkan peralatan listrik yang menggunakan komponen semikonduktor merupakan peralatan yang sensitif terhadap surja petir. Komponen semikonduktor merupakan perangkat yang amat rentan terhadap perubahan arus atau tegangan yang mendadak. Apabila batas toleransi perubahan arus tersebut dilampaui maka peralatan tersebut akan rusak/tidak berfungsi. Hal ini menyebabkan seluruh sistem dari peralatan tersebut menjadi tidak berfungsi. Berikut adalah tabel batas tegangan transient pada peralatan tegangan rendah berdasarkan European Standard (EN 61000-4-5).

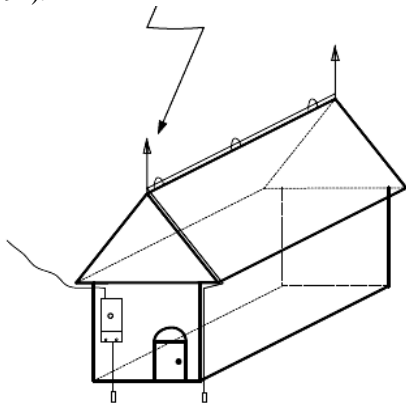
Tabel 2-1. Level tegangan transient peralatan dalam kV.

Level	Batas
1	0,5
2	1
3	2
4	4

Sumber : *Application of Surge Protection Devices for Very Low Voltage Devices* Mike Green Consulting Engineer- *Lightning and over-voltage protection*

2.4. Sambaran Tak Langsung Petir

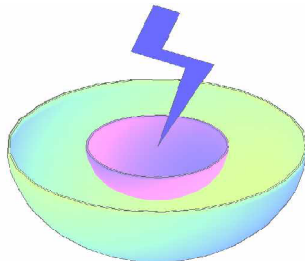
Sambaran tak langsung adalah sambaran yang tak langsung ke obyek tetapi sambaran ke benda sekitarnya dan pengaruh sambaran akan sampai ke obyek. Sambaran tak langsung yang akan ditinjau pada studi ini, yaitu Ground Potential Rise (IEEE Guide1991).



Gambar 2-1. Sambaran tak langsung (Induksi Petir & Ground Potential rise) yang menyambar sebuah gedung

2.5. Kenaikan Tegangan Tanah (Ground Potential Rise) Akibat Sambaran Petir

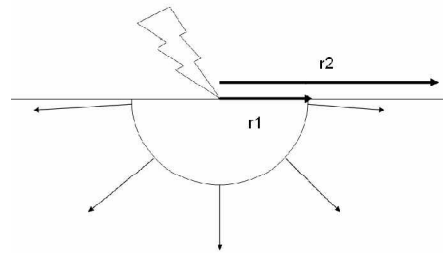
Menurut Hans Kr. Hoidalen (2003), Pada *Ground Potential Rise* (Kenaikan Tegangan Tanah) arus petir yang menyambar suatu objek terdistribusi secara radial di dalam tanah.



Gambar 2-1. Distribusi tegangan petir pada elektroda di dalam tanah

Pada Gambar 2-3 merupakan gambaran distribusi tegangan petir di dalam tanah. Distribusi tegangan petir tampak seperti luasan setengah bola. Pada lapisan yang berwarna ungu memiliki besar tegangan puncak yang berbeda dengan lapisan yang berwarna hijau. Sehingga akan ada faktor jarak dari

sambaran atau elektroda yang terkena sambaran petir terhadap besar tegangan puncak pada lapisan permukaan setengah bola tersebut.



Gambar 2-3. Distribusi tegangan petir elektrode rod di dalam tanah

Bila Arus I (arus petir) masuk ke tanah lewat suatu elektroda dan mengenai elektroda yang lain yang cukup jauh. Arus yang masuk ke tanah mengalir secara radial dari elektroda. Dari gambar 3 diatas dimisalkan arah arus dalam tanah dari elektroda dengan jari-jari r1 yang tersambar petir ke elektroda yang tidak tersambar petir sejauh r2, sehingga luasannya adalah setengah bola ($A=2\pi r^2$), maka besarnya resistansi pada jarak r2 adalah :

$$R = \frac{\rho}{2\pi r_2} \dots\dots\dots(2.1)$$

- dimana ,
- = resistansi antara 2 elektroda dengan jarak r₂ (Ω)
- ρ = tahanan jenis tanah (Ω.m)
- r₁ = jari-jari elektroda (m)
- r₂ = jarak elektrode (m)

2.6. Sistem Pengaman Petir Pada Gedung

Penghantar turun (*down conductor*) dimodelkan pada EMTP berupa resistor dan induktor yang tersusun secara seri. Besar/nilai resistansi dihitung berdasarkan rumus:

$$R = \frac{\rho}{2\pi r} \dots\dots\dots(2.2)$$

- dimana,
- = resistansi down conductor / penghantar turun pada gedung (m)
- = tahanan jenis penghantar (Ω.m),
- Cu = 1,72 x Ωm
- = panjang penghantar (m), dianggap sama dengan tinggi gedung
- = luas penampang penghantar (m²)

Sedangkan nilai induktansi penghantar turun (*down conductor*) dihitung dengan rumus :

$$L = \dots\dots\dots(2.3)$$

- dimana,
- = induktansi penghantar (μH)
- = panjang penghantar (m), dianggap sama dengan tinggi gedung
- r = jari-jari penghantar (m)

Oleh karena petir akan terjadi ketika musim hujan dalam hal ini kondisi tanah dalam keadaan basah /lembab ,sehingga tahanan jenis tanah dianggap 100 Ωm.

Pada resistansi elektroda pantanahan (R) diambil sesuai dengan standar IEEE,1986 (*IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding,Wiley-Interscience,a division of Jhon Wiley & Sons,Inc.New York.P.23*) yang besarnya ≤ 10 ohm. Namun pada thesis ini resistansi yang diambil 10Ω , sedangkan nilai L dihitung dengan persamaan berikut :

$$L = \left(2xlxln \frac{4xl}{d}\right) 10^{-7} \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana,

- L = nilai induktansi elektroda rod (H)
- l = panjang elektroda rod (m)
- d = diameter elektroda rod (m)

Nilai kapasistansi C dari elektroda rod menggunakan rumus

$$C = \left(\frac{\epsilon_r \times l}{18 x ln(Al/d)}\right) 10^{-9} \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana,

- C = kapasistansi elektroda rod (F)
- l = panjang elektroda rod (m)
- d = diameter elektroda rod (m)
- ε_r = konstanta dielektrik elektroda rod (F/m)
- ,tembaga = 3,3 F/m

2.7 EMTP (Electromagnetic Transient Program)

EMTP adalah program komputer terintegrasi yang di desain untuk menyelesaikan permasalahan peralihan pada sistem tenaga listrik untuk rangkaian tergrup, terdistribusi dan kombinasi keduanya. Prosedur simulasi dengan EMTP dapat dijelaskan pada uraian berikut:

- a. Model rangkaian simulasi.,
- b. Data-data masukan..
- c. Variabel keluaran.

Data-data dari seluruh komponen jaringan dan peralatan pengaman dimasukkan ke dalam program melalui lembar masukan data yang terdapat pada EMTP (Sowa Andrzej and Joraslaw).

2.8. Simulasi Rangkaian

Dalam melakukan simulasi pertama-tama membuat rangkaian model dengan menggunakan EMTP. Rangkaian model yang dibuat dibatasi dengan asumsi-asumsi berikut :

- 1. Beban menggunakan semikonduktor
- 2. Simulasi dengan memvariasikan jarak Rh .
- 3. Simulasi dengan memvariasikan besar resistansi tanah .

3. METODELOGI PENELITIAN.

Penelitian dilakukan dengan membuat model jaringan listrik, rangkaian elektronika, dan sistem proteksi terhadap petir (SPP) yang terdapat pada gedung bertingkat. Parameter komponen dari model yang dibuat ditentukan berdasarkan kondisi normal untuk jaringan listrik dan perangkat elektronika dan kondisi surja petir untuk SPP yang sampai ke elektroda pentanahan petir. Induksi petir yang terjadi pada instalasi listrik dan perangkat elektronik pada gedung disimulasikan dengan skenario sambaran petir terjadi pada sistem proteksi terhadap petir (SPP). Arus surja petir dari penangkap petir yang terletak di atap gedung disalurkan oleh penghantar BC ke tanah melalui elektroda pentanahan petir. Arus petir yang mengalir ke tanah melalui elektroda pentanahan petir akan terdistribusi secara radial di dalam tanah membentuk luasan tegangan puncak petir dengan radius tertentu sehingga terjadi kenaikan potensial pada tanah (*ground potential rise*). Tegangan puncak petir dalam tanah dengan radius tertentu dapat menginduksikan tegangan terhadap elektroda pentanahan jaringan listrik gedung.

Rangkaian dan parameter pada komponen pada jaringan listrik, rangkaian elektronika, dan SPP yang telah dibuat digambarkan pada program alternatif transien (*alternative transient program/ATP*). Jaringan listrik dan rangkaian elektronik yang digambarkan pada ATP dieksekusi dengan menggunakan program EMTP (Electromagnetic Transient Program).

Simulasi sistem proteksi terhadap petir (SPP) pada gedung bertingkat untuk mengetahui pengaruhnya terhadap peralatan elektronika dengan menggunakan eksekusi EMTP dilaksanakan melalui studi kasus di Gedung Pendidikan Polsri.

3.1 Bahan Penelitian

Bahan yang dibutuhkan untuk keperluan pengujian simulasi induksi petir pada perangkat elektronika di dalam gedung hanya berupa data dari jaringan listrik, perangkat elektronika, dan SPP yang digunakan:

- a. Data jaringan listrik; terdiri dari resistans, tegangan operasi, ratio transformator, dan daya perangkat elektronik, tegangan converter.
- b. Data SPP; terdiri dari diameter penghantar, panjang penghantar, resistansi penghantar, induktansi penghantar, resistansi elektroda pentanahan petir, induktansi, dan kapasitansi.
- c. Data batasan; batas maksimum tegangan lebih transien dari level perangkat elektronika.

3.2 Alat Penelitian

Peralatan pengujian simulasi induksi petir pada perangkat elektronika yang digunakan dalam penelitian adalah,

- a. Satu set komputer pribadi (PC) dengan spesifikasi minimum RAM 64 MB dan

minimum processor P100 untuk pengolahan data.

- b. Perangkat lunak (software) ATPDraw/EMTP.
- c. Printer untuk pencetakan data.

3.3 Prosedur Penelitian

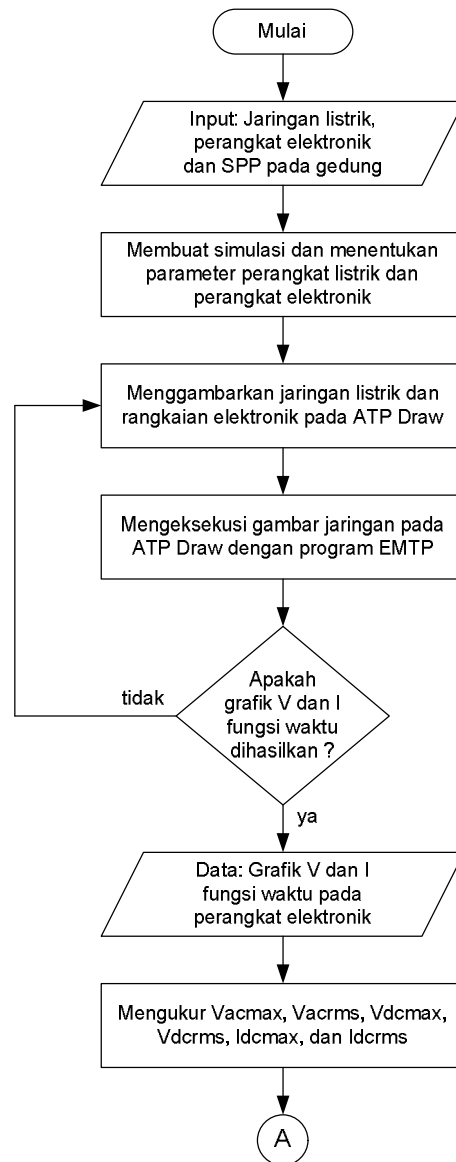
Prosedur eksekusi program simulasi sistem proteksi terhadap petir (SPP) pada gedung bertingkat untuk mengetahui pengaruhnya terhadap peralatan elektronika terdiri dari beberapa tahap, antara lain:

- Tahap 1 : Membuat simulasi dan menentukan parameter perangkat listrik dan perangkat elektronik berdasarkan data jaringan listrik pada gedung.
- Tahap 2 : Menggambarkan jaringan listrik dan rangkaian elektronika pada *alternative transient program* (ATP Draw).
- Tahap 3 : Mengeksekusi gambar jaringan listrik dan rangkaian elektronika pada *alternative transient program* (ATP Draw) dengan menggunakan program EMTP. Jika grafik tegangan dan arus fungsi waktu tidak dihasilkan, kembali ke tahap 2.
- Tahap 4 : Mencetak grafik tegangan dan arus fungsi waktu dan mengukur tegangan puncak AC (V_{ACmaks}), tegangan efektif AC (V_{ACrms}), tegangan puncak DC (V_{DCmaks}), tegangan efektif DC (V_{DCrms}), arus puncak DC (I_{DCmaks}), dan arus efektif DC (I_{DCrms}) dari perangkat elektronika pada kondisi normal.
- Tahap 5 : Membuat simulasi dan menentukan parameter system proteksi terhadap petir berdasarkan data SPP pada gedung.
- Tahap 6 : Menggambarkan SPP, jaringan listrik, dan rangkaian elektronika pada *alternative transient program* (ATP Draw).
- Tahap 7 : Mengeksekusi gambar SPP, jaringan listrik, dan rangkaian elektronika pada *alternative transient program* (ATP Draw) dengan menggunakan program EMTP. Jika grafik tegangan lebih transient fungsi waktu pada perangkat elektronika tidak dihasilkan, kembali ke tahap 6.
- Tahap 8 : Mencetak grafik tegangan lebih transient fungsi waktu dan mengukur tegangan lebih transient AC ($V_{ACtrans}$) dan tegangan lebih transient DC ($V_{DCtrans}$), dari perangkat elektronika pada kondisi induksi petir.
- Tahap 9 : Membandingkan tegangan lebih transient AC ($V_{ACtrans}$) dan tegangan lebih transient DC ($V_{DCtrans}$) dari

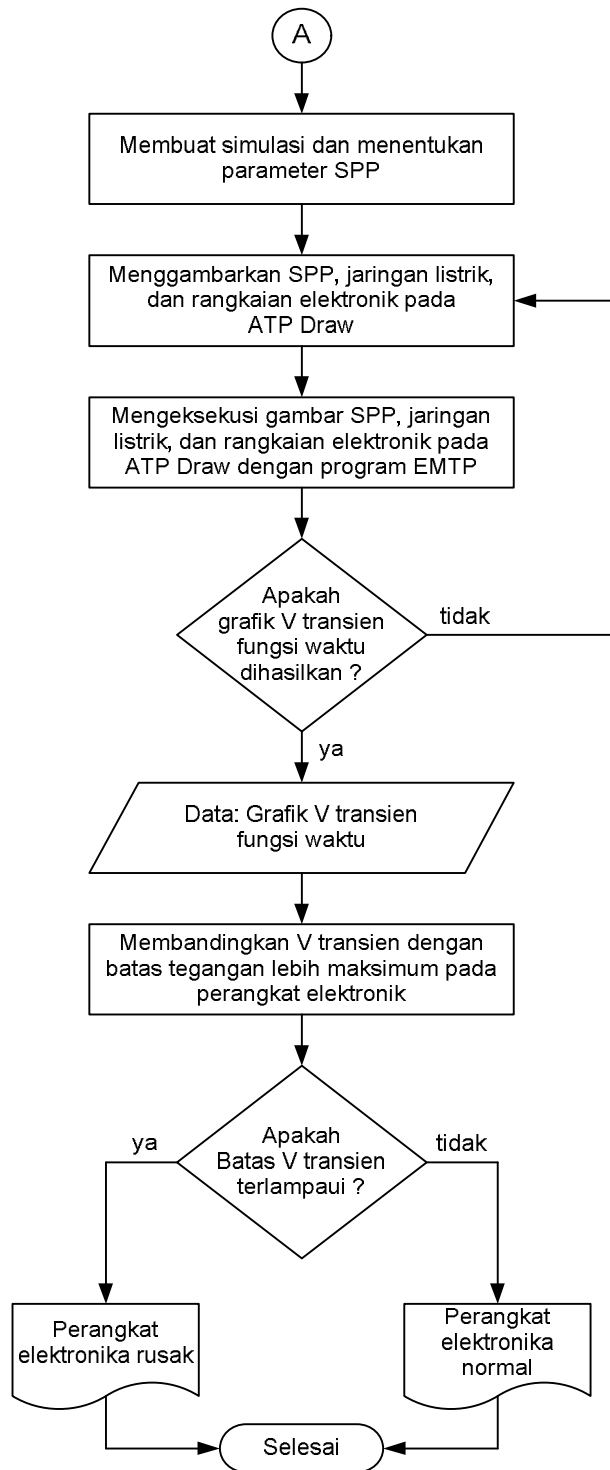
perangkat elektronika dengan batas tegangan lebih maksimum sesuai standar EN. Jika melampaui batas maksimum tegangan lebih transient, peralatan dinyatakan rusak.

Tahap10 : Menganalisa tegangan lebih transient yang terjadi pada perangkat elektronika.

Diagram alir prosedur dari simulasi sistem proteksi terhadap petir (SPP) pada gedung digambarkan pada gambar 3-1 dan 3-2.



Gambar 3-1. Diagram alir pengukuran tegangan dan arus perangkat elektronika pada kondisi normal.



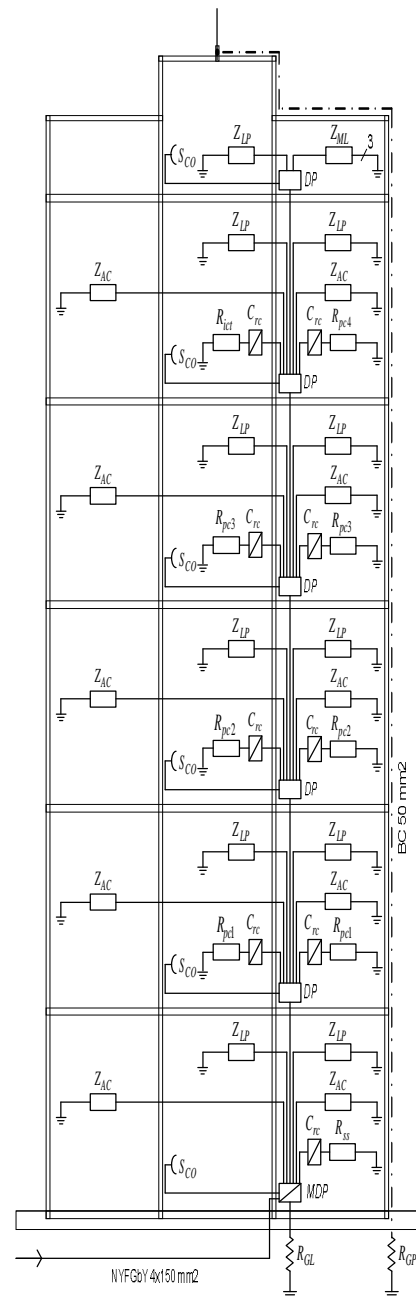
Gambar 3-2. Diagram alir pengukuran tegangan dan arus perangkat elektronika pada kondisi induksi petir.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN.

4.1 Hasil Pengujian

Pengujian model tegangan induksi akibat surja petir terhadap perangkat elektronik pada bangunan Gedung Pendidikan Polsri dengan instalasi listrik terdiri dari perangkat listrik dan perangkat elektronik serta sistem proteksi terhadap petir (SPP)

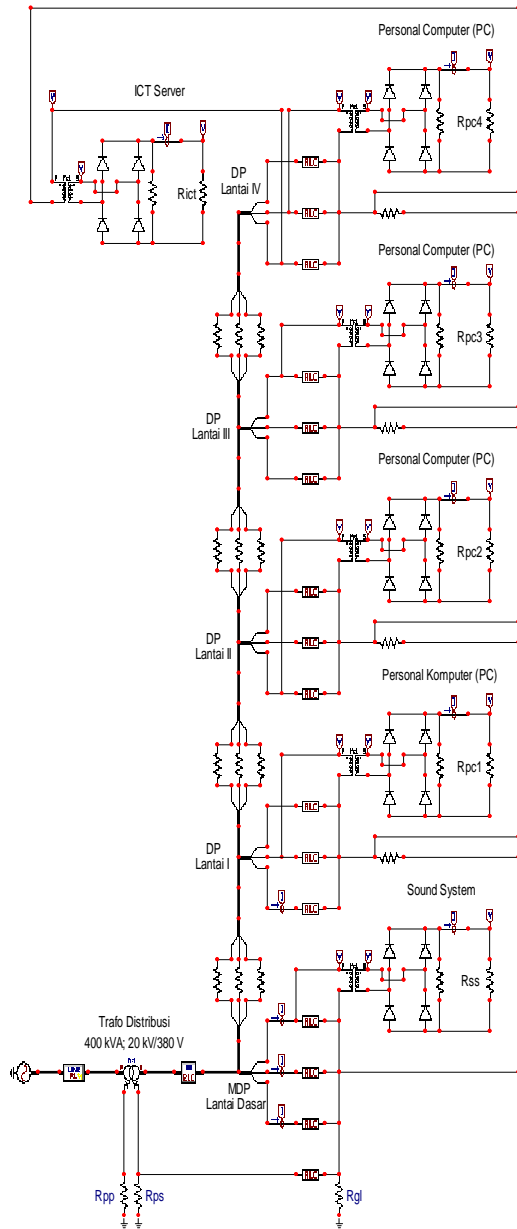
yang terpasang pada gedung digambarkan dalam bentuk diagram instalasi, seperti ditunjukkan pada gambar 4-1.



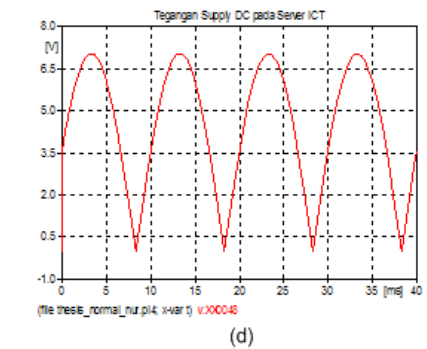
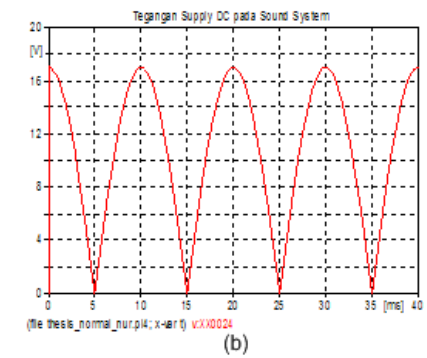
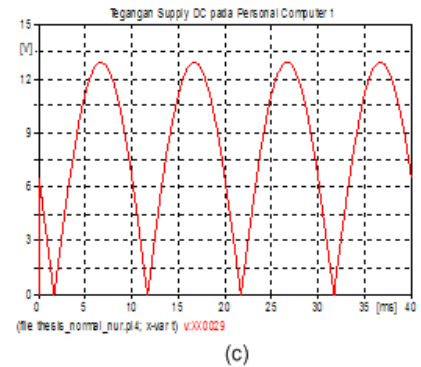
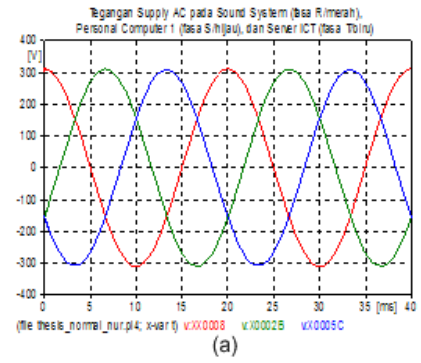
Gambar 4-1. Instalasi listrik dan sistem proteksi petir (SPP) pada bangunan Gedung Pendidikan Polsri.

4.1.1 Kondisi Normal

Berdasarkan instalasi listrik yang terdapat pada gedung, simulasi EMTP dibuat dengan menggambarkan jaringan listrik dan rangkaian elektronik pada ATP (Alternative Transient Program), seperti digambarkan pada gambar 4-2.



Gambar 4-2. Simulasi instalasi listrik dan rangkaian elektronik pada gedung.

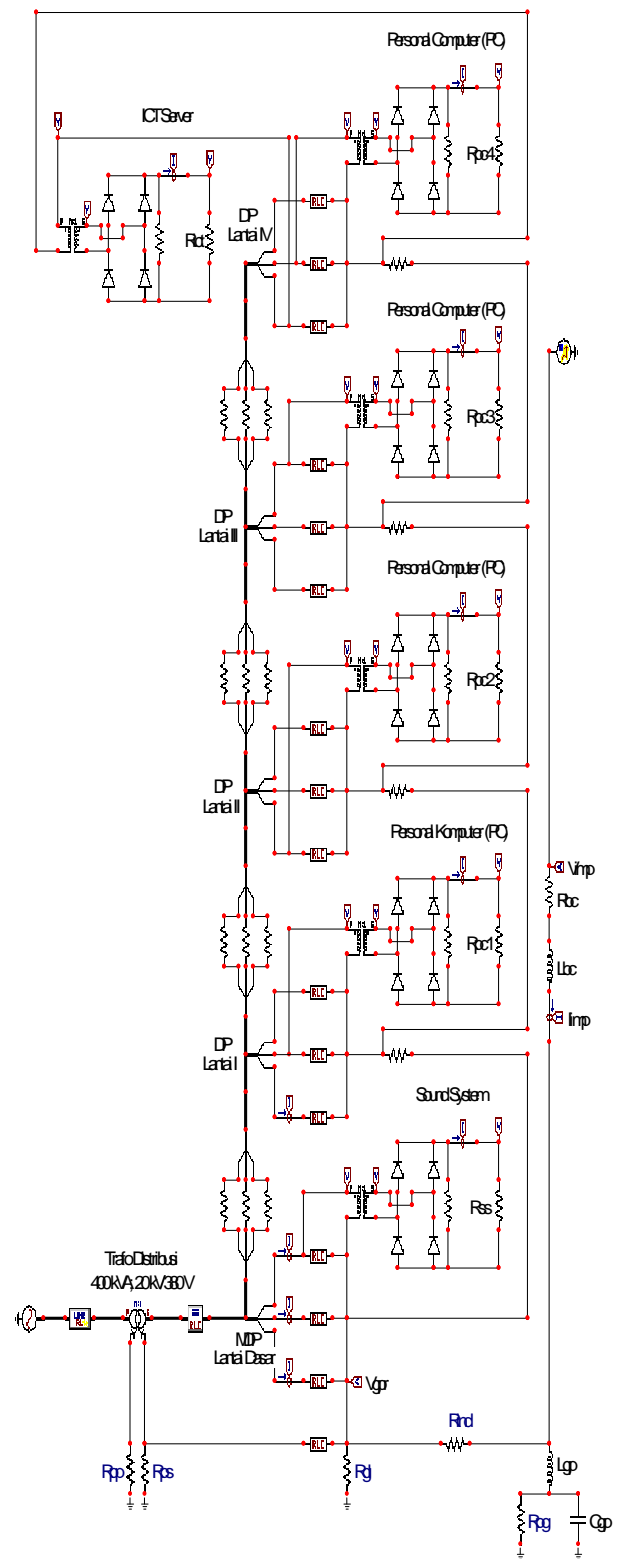


Gambar 4-3. Profil catu tegangan AC dan DC dari perangkat elektronik pada kondisi normal.

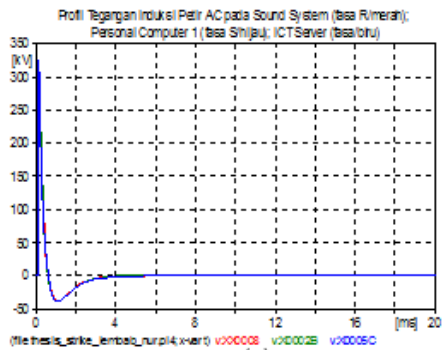
Tabel 4-1. Profil tegangan dan arus pada perangkat elektronik.

No.	Perangkat Elektronik	Fasa	Tegangan AC		Tegangan DC		Arus DC	
			$V_{A_{Cm}}$ (V)	$V_{A_{Crm}}$ (V)	$V_{D_{Cm}}$ (V)	$V_{D_{DC}}$ (V)	$I_{D_{Cm}}$ (A)	$I_{D_{Cr}}$ (A)
1.	Sound System	R	31,59	22,28	17,1	12,6	56,8	40,0
2.	Personal Computer 1	S	31,08	21,91	12,93	9,17	20,0	14,8
3.	Personal Computer 2	T	30,94	21,94	12,92	9,16	20,8	14,7
4.	Personal Computer 3	R	30,78	21,83	12,78	9,06	20,5	14,0
5.	Personal Computer 4	S	30,83	21,86	12,85	9,11	20,5	14,7
6.	Server ICT	T	30,84	21,87	12,703	9,498	36,36	64,64

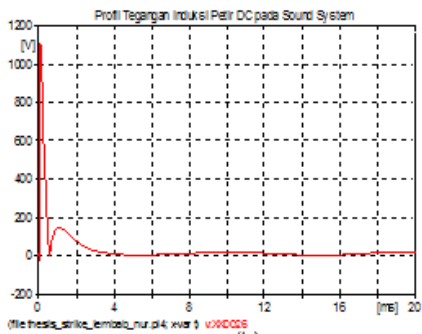
4.1.2 Kondisi Induksi Petir



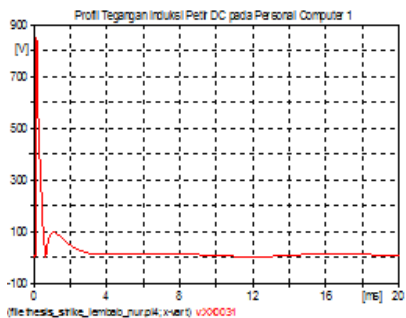
Gambar 4-4. Simulasi induksi petir dari SPP ke perangkat elektronik.



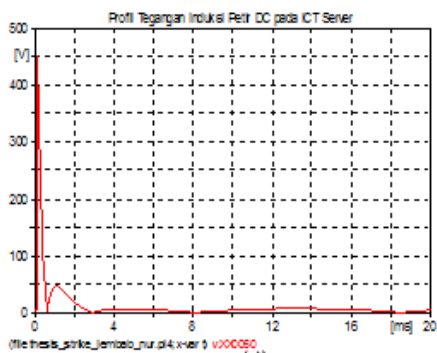
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4-5. (a,b,c,d) Profil tegangan lebih transien pada catu tegangan AC dan DC dari perangkat Elektronik dengan $\rho_g=100 \Omega\text{cm}$.

Tabel 4-2. Induksi petir pada perangkat *Sound System* dengan $\rho_g=100 \Omega\text{cm}$.

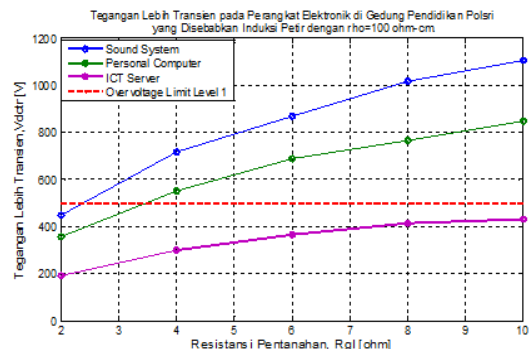
No.	Grounding Resistance R_{gl} (Ω)	Tegangan Lebih Transien (<i>transient overvoltage</i>)		
		V_{Actr} (kV)	V_{DCtr} (V)	t (ms)
1.	2	136,45	448,36	0,456
2.	4	214,40	714,49	0,476
3.	6	263,08	866,05	0,478
4.	8	300,40	1015,10	0,480
5.	10	326,68	1105,60	0,483

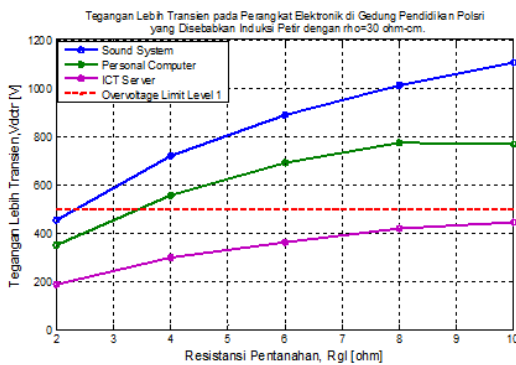
Tabel 4-3. Induksi petir pada perangkat *Personal Computer* Idengan $\rho_g=100 \Omega\text{cm}$.

No.	Grounding Resistance R_{gl} (Ω)	Tegangan Lebih Transien (<i>transient overvoltage</i>)		
		V_{Actr} (kV)	V_{DCtr} (V)	t (ms)
1.	2	135,47	356,73	0,522
2.	4	213,94	548,68	0,520
3.	6	262,66	688,02	0,517
4.	8	290,59	764,29	0,513
5.	10	323,92	847,32	0,508

Tabel 4-4. Induksi petir pada perangkat *ICT Server* dengan $\rho_g=100 \Omega\text{cm}$.

No.	Grounding Resistance R_{gl} (Ω)	Tegangan Lebih Transien (<i>transient overvoltage</i>)		
		V_{Actr} (kV)	V_{DCtr} (V)	t (ms)
1.	2	136,03	189,20	0,544
2.	4	213,99	297,70	0,530
3.	6	262,73	364,33	0,522
4.	8	292,70	412,71	0,519
5.	10	323,74	428,59	0,517





Gambar 4-6 dan gambar 4-9 memperlihatkan tegangan lebih transien (*transient overvoltage*).

4.1.3. Analisa

Berdasarkan hasil pengujian perangkat elektronik saat kondisi normal dan kondisi induksi petir dapat dibahas sebagai berikut:

1. Dari gambar 4-3 dan tabel 4-1 pada kondisi normal terlihat bahwa catu tegangan AC masing-masing perangkat elektronik terjadi penurunan tegangan untuk perangkat elektronik yang berada pada lantai yang semakin tinggi dimana tegangan AC untuk perangkat sound system yang berada di lantai dasar $V_{ACrms}=220,28$ V dan tegangan AC untuk perangkat personal komputer yang berada di lantai 4 $V_{ACrms}=218,66$ V. Penurunan tegangan AC ini diakibatkan oleh jatuh tegangan (*voltage drop*) sepanjang penghantar. Sedangkan perbedaan catu tegangan AC perangkat personal computer 4 (R_{pct}) dengan $V_{ACrms}=218,66$ V dan perangkat server ICT (R_{ict}) dengan $V_{ACrms}=218,75$ V yang berada pada lantai yang sama (lantai 4) diakibatkan oleh daya perangkat.
2. Membandingkan gambar 4-3 dari profil tegangan pada kondisi normal terhadap gambar 4-6 gambar 4-7 dari profil tegangan saat kondisi induksi petir pada perangkat elektronik di dalam gedung, terjadi kenaikan tegangan sampai sekitar 900 kali tegangan kondisi normal untuk catu tegangan AC dan 400 kali tegangan kondisi normal untuk catu tegangan DC dalam bentuk tegangan lebih transien (*transient overvoltage*) dengan durasi 0,456 ~ 0,903 ms. Induksi petir yang terjadi pada perangkat elektronik di dalam gedung berasal dari sambaran petir ke sistem proteksi terhadap petir (*SPP*) pada gedung. Arus surja petir dengan nilai puncak $I_o=100$ kA dan bentuk gelombang 10/350 μs dari penangkap petir yang terletak di atap gedung disalurkan oleh penghantar BC ke tanah melalui elektroda pentanahan petir R_{gp} . Arus petir yang mengalir ke tanah melalui elektroda pentanahan petir R_{gp} akan terdistribusi secara radial di dalam tanah membentuk luasan tegangan puncak petir dengan radius tertentu sehingga terjadi kenaikan potensial pada tanah (*ground potential rise*). Tegangan puncak petir dalam tanah dengan radius tertentu dapat menginduksikan tegangan terhadap elektroda pentanahan jaringan listrik gedung R_{gl} untuk didistribusikan ke seluruh jaringan listrik dan perangkat elektronik.

membentuk luasan tegangan puncak petir dengan radius tertentu sehingga terjadi kenaikan potensial pada tanah (*ground potential rise*).

3. Berdasarkan tabel 4-2 sampai tabel 4-6, nilai tegangan lebih transien yang terbesar terjadi pada perangkat sound system ($V_{DCtr}=1105,60$ V) dengan kondisi tanah lembab $\rho_g=100$ Ωcm dan resistansi pentanahan jaringan listrik $R_{gl}=10$ Ω . Sedangkan nilai tegangan lebih transien terkecil terjadi pada perangkat ICT server ($V_{DCtr}=187,68$ V) dengan kondisi tanah basah $\rho_g=30$ Ωcm dan resistansi pentanahan pada jaringan listrik $R_{gl}=2$ Ω . Tegangan lebih transien pada perangkat elektronik akibat induksi surja petir akan semakin besar jika perangkat elektronik berada lebih dekat dengan pentanahan jaringan listrik gedung R_{gl} (sebagai sumber tegangan induksi petir) serta resistansi rangkaian perangkat elektronik yang kecil, resistansi pentanahan R_{gl} yang lebih besar, dan tahanan jenis tanah ρ_g yang besar.
4. Dari gambar 4-7 dan gambar 4-8, tegangan lebih transien yang terjadi pada perangkat elektronik di dalam gedung akibat induksi petir semakin berkurang untuk nilai resistansi pentanahan jaringan listrik R_{gl} semakin kecil.

5. Kesimpulan

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil pengujian melalui simulasi dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

Profil tegangan saat kondisi induksi petir pada perangkat elektronik di dalam gedung, terjadi kenaikan tegangan sampai sekitar 900 kali tegangan kondisi normal untuk catu tegangan AC dan 400 kali tegangan kondisi normal untuk catu tegangan DC dalam bentuk tegangan lebih transien (*transient overvoltage*) dengan durasi 0,456 ~ 0,903 ms. Induksi petir yang terjadi pada perangkat elektronik di dalam gedung berasal dari sambaran petir ke sistem proteksi terhadap petir (*SPP*) pada gedung. Arus surja petir dari penangkap petir yang terletak di atap gedung disalurkan oleh penghantar BC ke tanah melalui elektroda pentanahan petir R_{gp} . Arus petir yang mengalir ke tanah melalui elektroda pentanahan petir R_{gp} akan terdistribusi secara radial di dalam tanah membentuk luasan tegangan puncak petir dengan radius tertentu sehingga terjadi kenaikan potensial pada tanah (*ground potential rise*). Tegangan puncak petir dalam tanah dengan radius tertentu dapat menginduksikan tegangan terhadap elektroda pentanahan jaringan listrik gedung R_{gl} untuk didistribusikan ke seluruh jaringan listrik dan perangkat elektronik.

Arus induksi petir yang mengalir akibat surja petir akan terdistribusi ke seluruh jaringan dan rangkaian listrik yang berhubungan. Arus induksi petir cenderung mengalir pada rangkaian dengan resistansi yang lebih kecil sehingga jika resistansi pentanahan jaringan listrik R_{gt} semakin kecil maka arus induksi yang mengalir ke tanah semakin besar sedangkan arus induksi yang mengalir ke jaringan listrik dan perangkat elektronik berkurang sehingga tegangan lebih transien yang terjadi pada perangkat elektronik menurun. Saat terjadi induksi petir dengan arus puncak impuls petir $I_o=100$ kA dan bentuk gelombang 10/350 μ s untuk kondisi tanah lembab ($\rho_g=100$ Ω cm) dan basah ($\rho_g=30$ Ω cm), perangkat *sound system* yang berada di lantai dasar dan *personal computer* yang berada di lantai 1 dengan resistansi pentanahan jaringan listrik $R_{gt} = 4\sim 10$ Ω mengalami kerusakan, karena nilai tegangan lebih transien yang terjadi sebesar 714,49 V~1105,60 V untuk perangkat *sound system* dan 548,68 V~847,32 V untuk perangkat *personal komputer* telah melampaui batas tegangan lebih transien maksimum perangkat.

5.2 Saran

Dari hasil analisa sistem proteksi terhadap petir (SPP) pada gedung bertingkat dan pengaruhnya terhadap peralatan elektronika melalui studi kasus pada Gedung Pendidikan Polsri dapat disarankan sebagai berikut:

1. Untuk mengurangi tegangan lebih transien (*transient overvoltage*) pada perangkat elektronika di dalam gedung maka tahanan pentanahan jaringan listrik pada gedung harus dibuat sekecil mungkin.
2. Untuk menghindari timbulnya induksi tegangan surja petir yang timbul dari kenaikan potensial tanah (*ground potential rise*) sebaiknya seluruh sistem pentanahan pengaman disatukan (*bonding*) atau dengan membuat pentanahan bersama (*common grounding*).
3. Untuk membatasi tegangan lebih transien pada perangkat elektronika sebaiknya jaringan listrik pada gedung diberikan pengaman secara internal dengan menempatkan perangkat pengamanan petir (*surge protection device/SPD*) atau arrester.

DAFTAR PUSTAKA

1. D.V. Razevig, Prof. High Voltage Engineering, Khana Publisher.
2. Hans Kr. Hoidalen 200, Calculation Of Lightning – Induced Voltage In Models Including Lossy Ground Effects. IPST. New Orleans, USA
3. Hutauruk, T.S, Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja Petir, ITB, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1991.
4. IEEE Guide, How to Protect Your House and Its Content From Lightning,IEEE, United States of America,2005.

5. Mika Green, Application of Surge Protection Devices for Very Low Voltage Devices.
6. Standard IEC-6-1312 , International standard : Protection Against lightning Electromagnetic Impulse, IEC Publication,1995.
7. Sowa Andrzej and Joraslaw Wiater , Program ATP/EMTP in Over Voltage Education . Faculty of Electrical Engineering Bialystok Technical Univercity,Poland.