

TINJAUAN TEORITIS ELEKTROTEKNIK DAN TEKNOEKONOMI UNTUK PENGKAJIAN KERUSAKAN AKIBAT SAMBARAN PETIR (STUDI KASUS: KAWASAN KAMPUS UIKA BOGOR)

Arief Goeritno

Jurusan Teknik Elektro — Fakultas Teknik — Universitas Ibn Khaldun Bogor

ABSTRAK

TINJAUAN TEORITIS ELEKTROTEKNIK DAN TEKNOEKONOMI UNTUK PENGKAJIAN KEMUNGKINAN KERUSAKAN AKIBAT SAMBARAN PETIR. Telah dilakukan tinjauan teoritis elektroteknik dan teknoekonomi untuk mengkaji kerusakan akibat sambaran petir. Sambaran petir pada suatu objek dapat mengakibatkan kerusakan dan menimbulkan kerugian material maupun non material. Untuk menanggulangi kerugian akibat sambaran petir, diperlukan sistem proteksi petir pada objek yang akan diproteksi. Seringkali, biaya yang diperlukan untuk maksud tersebut tidak sedikit jumlahnya, maka sering muncul pertanyaan sampai seberapa besar manfaat yang diperoleh jika pemasangan suatu sistem proteksi petir atau sampai seberapa besar kerugian atau risiko yang akan timbul bila terjadi sambaran petir pada objek di mana sistem proteksi petir tidak terpasang. Untuk menjawab pertanyaan tersebut, telah dikembangkan model analisis risiko yang didasarkan kepada pendekatan teknoekonomi dengan cara mengkuantifikasikan *Tangible Cost Factor* atas kerugian yang ditimbulkan dan perhitungan kemungkinan kerusakan yang terjadi.

ABSTRACT

THEORETICAL REVIEW OF THE ELECTROTECHNIQUE AND ECONOTECHNIQUE TO ASSESSMENT THE DAMAGE PROBABILITY AFTERMATH LIGHTNING STROKE. The theoretical review of the electrotechnique and econotechnique to assesment the damage probability aftermath lightning stroke have been done. Lightning stroke to the object can cause damages and occur losses of material as well as nonmaterial. For overcome of losses from lightning stroke, it is necessary of lightning protection system on object that would be protected. Sometimes, cost for itself has amount is not little, accordingly often about emerge of question about the amount of benefit has got if installing of lightning protection system or the amount of losses or arise of risk if lightning stroke was happen on the object where lightning protection system installed yet. For answering this question, it has developed the risk analysis model that base on technoeconomy approchement with method of quantification in Tangible Cost Factor upon losses that occured and calculation for damages that happen probability.

1 PENDAHULUAN

Sambaran petir merupakan fenomena alam yang terjadi secara random dan tidak dapat dikendalikan kejadiannya, oleh karena itu petir dapat mengakibatkan kerusakan pada objek yang menjadi sasarannya. Kerusakan ini dapat berupa hilangnya jiwa manusia, matinya binatang, tidak berfungsinya peralatan dan instalasi, dan lain-lain. Dalam masyarakat modern dengan industrialisasi dan penggunaan peralatan yang berbasis mikroelektronika dan komputer yang semakin meningkat, maka kemungkinan terjadinya sambaran petir semakin meningkat pula sehingga kerusakan terhadap peralatan instalasi semakin besar.

Kerusakan suatu peralatan atau instalasi tidak hanya terjadi karena adanya sambaran petir yang mengenai objek tersebut dan dikenal dengan *direct stroke*, tetapi juga terjadi akibat sambaran tidak langsung atau *indirect stroke* yang berjarak sampai dua kilo meter dari objek tersebut. Hal ini disebabkan adanya kopling-kopling induksi, galvanik, kapasitif, dan konduksi yang mengakibatkan timbulnya elevasi tegangan yang berasal dari objek yang tersambar. Besarnya kerugian yang disebabkan karena sambaran petir dari tahun ke tahun semakin meningkat[1].

Dalam makalah ini mengandung tujuan pengkajian, yaitu: (i) memperoleh kajian kerusakan secara elektroteknik dan teknoekonomi, (ii) memperoleh nilai kuat medan yang timbul akibat sambaran petir, dan (iii) memperoleh kajian nilai risiko kerugian.

2 TINJAUAN PUSTAKA

Medan listrik dan magnet yang terjadi di titik-titik permukaan bumi pada jarak tertentu dari titik sambaran petir dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut[2,3]:

$$\dots\dots\dots(1)$$

dan

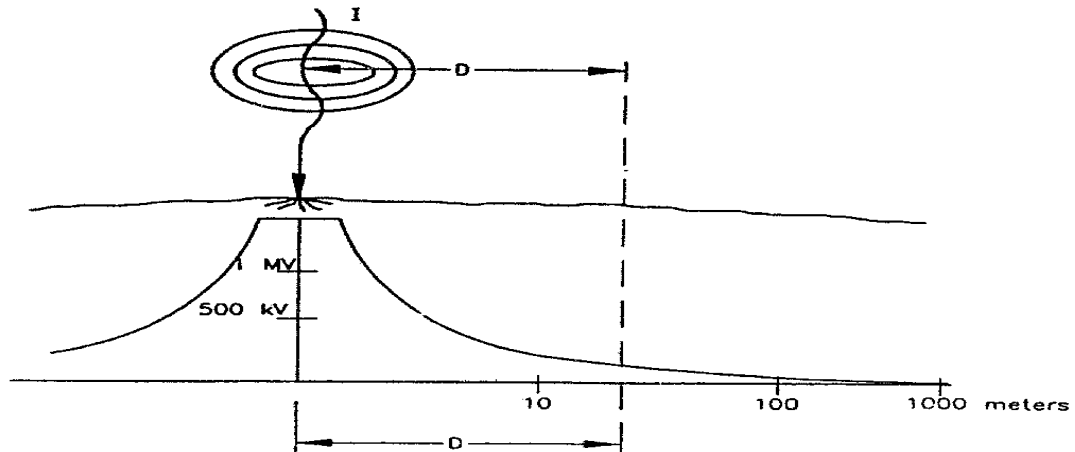
$$\dots\dots\dots(2)$$

dengan:

= kuat medan elektrik yang terjadi, [volt/meter];

- = arus petir yang terjadi, [ampere];
- = kuat medan magnet yang terjadi, [ampere/meter];
- = jarak titik dari pusat sambaran, [meter];
- = resistivitas tanah tempat kejadian, [Ω .meter].

Timbulnya medan magnet dan elevasi tegangan seperti ditunjukkan pada Gambar 1.[2,3].



Gambar 1. Medan magnetik dan elevasi tegangan akibat arus petir sebesar 140 kA pada tanah dengan resistivitas 1000 Ω .meter

Untuk memasang suatu sistem proteksi harus mengeluarkan sejumlah dana yang kadangkala tidak sedikit, sehingga muncul pertanyaan sampai seberapa besar manfaat yang akan diperoleh dibandingkan dengan ongkos atau investasi yang dikeluarkan untuk memasang sistem proteksi.

Menurut Newman[4], untuk menilai kelayakan ekonomis dari suatu kegiatan usaha dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai macam kriteria, yaitu *PW* (Nilai Sekarang, *Present Worth*), *EAC* (Nilai Ekuivalen Ongkos Tahunan, *Equivalent Annual Cost*), *IRR* (Nilai Tingkat Pengembalian Modal, *Internal Rate of Return*), dan *BCR* (Rasio Manfaat dan Biaya, *Benefit Cost Ratio*). Mengingat pemasangan suatu sistem proteksi petir erat kaitannya dengan pertanyaan yang berkaitan dengan besar manfaat dan biaya yang dikeluarkan, maka dalam hal ini akan digunakan model *BCR*. Untuk perhitungan nilai risiko teknis akibat adanya sambaran petir akan didasarkan pada model yang telah dikembangkan oleh Fliswoski dan Mazetti[5], *Technical Report IEC 1662*[6], dan standar *IEC 1024*[7].

Berdasarkan atas model *BCR*, maka pada prinsipnya suatu kegiatan dikatakan layak apabila nilai manfaatnya lebih besar dari biaya investasi yang dikeluarkan. Nilai manfaat yang diperoleh dalam pemasangan sistem proteksi dapat diukur berdasarkan atas nilai kerugian (*losses*) yang akan diderita, apabila peralatan tersebut tidak menggunakan sistem proteksi. Dalam hal pemasangan sistem proteksi petir, maka nilai biaya atau investasi dan manfaat tersebut akan dihitung selama umur ekonomis dari sistem proteksi yang dipasang, sehingga secara matematis dapat dinyatakan dengan pertidaksamaan berikut[8]:

$$\dots\dots\dots(3),$$

dengan:

- : nilai sekarang dari besar pengeluaran pada tahun ke- ,
- : nilai sekarang dari besar kerugian pada tahun ke- ,
- : umur ekonomis sistem proteksi.

Untuk menghitung besar pengeluaran setiap tahunnya tidaklah sulit, sebab pada prinsipnya terdiri atas dua komponen pokok, yaitu besar investasi yang dikeluarkan pada saat pemasangan sistem proteksi dan besar ongkos pemeliharaan yang dikeluarkan setiap tahunnya. Dalam perhitungan risiko ini yang perlu dijabarkan lebih lanjut adalah bagaimana perhitungan kerugian setiap tahunnya. Menurut **Fliswoski** dan **Mazetti**[5], besar nilai kerugian pada tahun ke- dapat dinyatakan:

$$\dots\dots\dots(4),$$

dengan:

- : frekuensi sambaran petir pada tahun ke- ,
- : nilai kerugian yang timbul apabila terjadi kerusakan,
- : probabilitas (kemungkinan) terjadinya kerusakan bila terjadi sambaran

Nilai merupakan ekspektasi terjadinya kerusakan akibat sambaran petir pada tahun ke- . Perhitungan terhadap besar nilai dan akan didasarkan pada model yang telah dikembangkan (Model **Fliswoski** dan **Mazetti**, serta model *Technical Report IEC 1662* tahun 1995).

3 TINJAUAN ELEKTROTEKNIK DAN TEKNOEKONOMI

Dalam bahasan ini dijelaskan dua tinjauan, yaitu secara elektroteknik dan teknoekonomi. Tinjauan elektroteknik ditekankan kepada efek medan yang terjadi, baik medan elektrik maupun magnetik yang timbul akibat adanya sambaran di Kawasan Kampus UIKA Bogor; Sedangkan tinjauan teknoekonomi ditekankan kepada masalah kerusakan yang terjadi dan dampaknya secara ekonomi.

3.1 Tinjauan Elektroteknik

Berpedoman kepada struktur tanah hasil pengukuran di sekeliling Gedung Rektorat, maka resistivitas tanah rerata tertinggi (nilai) adalah 200 Ω .meter, sedangkan nilai maksimum rerata arus petir yang mungkin timbul di kawasan Kampus UIKA Bogor[9,10], dan mengasumsikan sambaran pada jarak 500 meter (yaitu jarak ruang terbuka di sekeliling Gedung Rektorat UIKA Bogor), maka akan diperoleh nilai seperti ditunjukkan pada Tabel 1. berikut.

Tabel 1. Kuat medan yang dihasilkan arus petir di sekeliling gedung

(Ω .meter)	(kA)	(meter)	(volt/meter)	(A/meter)
200	54,24	500	3454,775	17,27

Kondisi dimana kuat medan elektrik yang timbul tersebut tidak sanggup ditahan oleh isolasi kabel pada catu daya jaringan listrik, maka akan terjadi elevasi tegangan pada tegangan pasokan jaringan listrik yang digunakan untuk mengoperasikan peralatan-peralatan yang ada. Demikian halnya dengan kuat medan magnet.

3.2 Tinjauan Teknoekonomi

Untuk dapat menghitung nilai risiko secara teknoekonomi yang lebih terukur diperlukan penjabaran dan pengembangan lebih lanjut terhadap model dasar tersebut di atas, meliputi: (i) frekuensi sambaran petir (), (ii) nilai kerugian (), dan (iii) probabilitas Terjadinya Kerusakan ().

3.2.1 Frekuensi sambaran petir ()

Frekuensi sambaran yang mengenai objek () terdiri atas dua jenis, yaitu frekuensi sambaran langsung () dan sambaran tidak langsung () yang ditunjukkan seperti persamaan berikut[7,8]:

$$\dots\dots\dots(5).$$

Frekuensi sambaran langsung sangat dipengaruhi oleh bentuk struktur dan dimensi objek, keadaan topografi di mana objek terletak, dan objek lain yang berada di sekitar objek yang akan dilindungi. Secara umum frekuensi sambaran langsung dinyatakan seperti persamaan berikut[7,8]:

$$\dots\dots\dots(6)$$

dengan:

: kepadatan petir ke bumi per tahun (sambaran/km²/tahun)

: luas area pengumpul efektif

Kepadatan petir ke bumi () dipengaruhi oleh hari guruh dan curah hujan daerah tersebut, sehingga diperoleh hubungan[7]:

$$\dots\dots\dots(7)$$

dengan:

= hari guruh per tahun

= curah hujan per tahun (mm/tahun)

Menurut *IEC Technical Report 1662*, nilai diperoleh secara empiris sebagai luas dari dimensi bangunan, yaitu[7]:

$$\dots\dots\dots(8),$$

dengan:

= luas bangunan = panjang (a) x lebar (b), m²

= keliling bangunan = 2 (a + b), meter

= 3,14

= tinggi bangunan, meter

Frekuensi sambaran tidak langsung terdiri atas frekuensi sambaran di sekitar objek sambaran (*nearby lightning frequency*) dan frekuensi sambaran yang dipengaruhi oleh objek lain yang terhubung (*incoming*) yang dinyatakan sebagai berikut[7]:

$$\dots\dots\dots(9)$$

dengan:

- = frekuensi sambaran ke permukaan bumi di sekitar objek
- = frekuensi sambaran yang dipengaruhi objek lain

Besar dapat dinyatakan dalam persamaan berikut[7]:

$$\dots\dots\dots(10),$$

dengan:

- = luas tanah di sekitar bangunan, m^2
- = kepadatan sambaran petir ke bumi

Besar diperoleh secara empiris, yaitu[7]:

$$\dots\dots\dots(11),$$

dengan:

- = jarak antara garis keliling bangunan ke garis keliling daerah

Frekuensi sambaran yang dipengaruhi objek lain () dinyatakan sebagai berikut[7]:

- banyak saluran terhubung ke gedung (),
- kerapatan sambaran petir ke bumi (),
- luas daerah ekivalen sambaran petir ke saluran ().

Hubungan antara ketiganya dapat ditulis seperti berikut[7,8]:

$$\dots\dots\dots(12),$$

terdiri atas dua komponen, yaitu komponen () dan komponen (), sehingga dapat ditulis sebagai berikut:

$$\dots\dots\dots(13),$$

dengan:

= luas area dari seluruh saluran (*incoming*) yang masuk, seperti saluran listrik, saluran telekomunikasi

= luas area dari struktur terdekat yang berhubungan dengan objek

Nilai dapat dicari menurut jenis saluran seperti ditunjukkan dalam Tabel 2. dan Tabel 3.[7].

Tabel 2. Luas daerah dari saluran listrik

No.	Tipe saluran listrik	Luas daerah
1.	Saluran udara tegangan rendah	2000 .
2.	Saluran udara tegangan tinggi	500 .
3.	Saluran bawah tanah tegangan rendah	2 . .
4.	Saluran bawah tanah tegangan tinggi	0,1 . .
Keterangan:		
= panjang kabel maksimum (1000 meter)		
= nilai dari resistans tanah		

Tabel 3. Luas daerah saluran telekomunikasi

No.	Tipe dari saluran data	Luas daerah
1.	Saluran sinyal udara	2000 .
2.	Saluran sinyal bawah tanah	2 . .
3.	Kabel optik serat tanpa lapisan logam	0
Keterangan:		
= panjang kabel maksimum (1000 meter)		
= nilai dari resistans tanah		

3.2.2 Nilai kerugian ()

Besar nilai kerugian untuk setiap kerusakan yang terjadi ditentukan oleh dua faktor, yaitu *Tangible* dan *Intangible Cost Factor*[5,6,7,8]. *Tangible Cost Factor* meliputi:

- Biaya menunggu (*idle cost*),
- Biaya perbaikan (*repair cost*),
- Kerugian karena terbuangnya barang setengah jadi (*lost WIP*),

- Kerugian karena hilangnya keuntungan (*lost sales*),
- Kerugian karena menurunnya umur pakai peralatan (*reduction of life time*), dan lain-lain.

Intangible Cost Factor meliputi:

- Menurunnya keandalan sistem (*system reliability*),
- Menurunnya kepercayaan konsumen (*customer loyalty*),
- Menurunnya citra perusahaan di hadapan konsumen (*company image*),
- Biaya sosial (*social cost*), dan lain-lain.

Intangible Cost Factor, adalah kerugian yang sulit diukur dan dikuantifikasikan. Untuk menghitung besar nilai kerugian keseluruhan, besar nilai *Tangible Cost Factor* harus dihitung terlebih dahulu. Saat dimana nilai kerugian dari *Tangible Cost Factor* telah memadai untuk menentukan kelayakan (karena akan memperbesar nilai kerugian), maka sistem proteksi sangat layak untuk dipasang. Besar nilai kerugian karena menganggurnya peralatan akan mempengaruhi besar kerugian yang akan diderita, apabila peralatan tidak berfungsi, yang terdiri atas biaya depresiasi, terbuangnya utilitas yang tidak dipakai untuk keperluan produktif, dan kerugian yang timbul akibat karyawan menganggur. Besar biaya perbaikan akan tergantung pada jenis kerusakan, jenis dan jumlah komponen yang rusak, dan biaya reparasi untuk mengembalikan kepada fungsi asalnya.

Selanjutnya, besar nilai kerugian karena barang setengah jadi yang terbuang biasanya timbul dalam suatu sistem instalasi yang dioperasikan secara berkesinambungan, seperti industri kimia. Besar kerugian jenis ini akan ditentukan oleh harga material, tenaga kerja, dan biaya penggunaan peralatan yang terbuang. Selain itu, selama tidak berfungsinya peralatan juga akan mengakibatkan hilangnya kesempatan untuk mendapatkan keuntungan yang besarnya bergantung pada jumlah barang yang tidak dapat dilayani selama tidak berfungsinya peralatan dan keuntungan per unit produknya. Hal yang perlu diperhatikan dalam perhitungan nilai kerugian akibat *lost sales* adalah tidak hanya akibat yang langsung tetapi juga akibat tidak langsung yang terjadi sebagai konsekuensi dari suatu instalasi yang menggunakan input dari output peralatan yang mengalami kerusakan. Berdasarkan hal itu, kerugian yang timbul akibat kerusakan peralatan yang ada di hulu akan menyebabkan kerugian yang tidak sedikit bagi instalasi yang ada di hilir.

Satu hal lagi yang perlu diperhitungkan dalam mengkuantifikasikan nilai kerugian adalah menurunnya umur pakai peralatan akibat rusak karena sambaran. Hal ini utamanya

untuk peralatan elektronik yang sangat rentan terhadap kenaikan tegangan lebih. Menurunnya umur pakai berarti akan mempercepat masa pakai peralatan yang pada gilirannya akan menaikkan ongkos pakai peralatan tersebut. Nilai penurunan ini dapat diperhitungkan berdasarkan atas nilai depresiasi yang dipercepat. Selain itu, kemungkinan masih dijumpai elemen kerugian lain yang belum teridentifikasi yang keberadaannya sangat perlu untuk diperhitungkan dalam suatu situasi tertentu.

Besarnya nilai kerugian untuk setiap kejadian kerusakan dapat dinyatakan sebagai persamaan (5) berikut[7]:

$$\dots\dots\dots(14)$$

dengan:

- = ongkos menganggur selama peralatan tidak berfungsi,
- = ongkos perbaikan,
- = kerugian terbuangnya barang setengah jadi,
- = keuntungan yang hilang akibat penjualan yang lepas,
- = kerugian yang timbul akibat menurunnya umur pakai,
- = ongkos kerugian lainnya.

3.2.3 Probabilitas Terjadinya Kerusakan ()

Sambaran langsung petir ke suatu struktur atau daerah sekelilingnya dapat menimbulkan kerusakan-kerusakan yang didasarkan kepada beberapa faktor sebagai fungsi struktur tersebut, instalasi yang ada di dalamnya, dan peralatan proteksi yang diseleksi oleh perancang proteksi terhadap petir. Nilai-nilai probabilitas digunakan untuk faktor-faktor inheren di dalam instalasi dan bangunan, serta koefisien (nilai probabilitas pengurangan) yang digunakan untuk peralatan-peralatan proteksi yang dapat diterapkan oleh perancang.

Sumber terjadinya kerusakan pada suatu objek dapat disebabkan oleh berbagai faktor yang dapat dikelompokkan dalam:

- = tegangan sentuh dan langkah (*touch and step voltages*) karena sambaran petir langsung yang mengenai objek;
- = kebakaran, ledakan, dan pengaruh mekanis dan kimiawi karena sambaran langsung;

- = kebakaran, ledakan, dan pengaruh mekanis dan kimiawi karena sambaran tidak langsung;
- = *overvoltage* pada peralatan akibat sambaran langsung;
- = *overvoltage* pada peralatan akibat sambaran tidak langsung.

Sumber-sumber kerusakan tersebut dapat mengakibatkan timbulnya tipe-tipe kerusakan yang harus diperhitungkan, yaitu:

- (1) kerugian akibat hilangnya nyawa manusia,
- (2) kerugian akibat hilangnya waktu untuk pelayanan ke publik,
- (3) kerugian akibat hilangnya warisan budaya yang tidak ternilai harganya,
- (4) kerugian-kerugian lain yang tidak meliputi kehidupan kemanusiaan, yaitu berupa nilai-nilai budaya dan sosial, dan
- (5) seperti butir (4) tetapi tidak meliputi bangunan sensitif.

Hubungan tipe-tipe dan sumber-sumber kerusakan ditunjukkan seperti dalam Tabel 4.[7].

Tabel 4. Tipe-tipe dan sumber-sumber kerusakan

Tipe kerusakan	Sumber kerusakan				
	dari sambaran langsung			dari sambaran tidak langsung	
(1)	√	√			√
(2)		√	√	√	√
(3)		√			√
(4)		√	√	√	√
(5)		√			√

Untuk menghitung besarnya kemungkinan terjadinya kerusakan akibat adanya sambaran, baik sambaran langsung maupun tidak langsung ada dua jenis pendekatan, yaitu menggunakan pendekatan *Technical Report IEC 1662* dan simulasi **Monte Carlo**. Dalam pendekatan *Technical Report IEC 1662* tidak memperhitungkan karakteristik dan parameter petir yang terjadi pada objek sambaran, sehingga akan mengurangi keakuratan dan ketelitian hasil yang diperoleh, walaupun demikian perhitungan dengan cara ini jauh lebih mudah, sedangkan untuk pendekatan simulasi **Monte Carlo** memang dapat diperoleh hasil yang

lebih baik namun diperlukan pemahaman tentang simulasi dan tersedianya karakteristik dan parameter petir yang memadai. Tersedianya teknologi sistem pelacak petir *LPATS (Lightning Position And Tracking System)* dari *USA* dan dioperasikan di Indonesia dengan nama *JADPEN*[11] yang di kelola oleh PT Lapi Elpatsindo Jakarta, maka ketersediaan data karakteristik dan parameter petir tidak menjadi permasalahan.

Pendekatan *Technical Report IEC 1662* menunjukkan, bahwa probabilitas kerusakan disebabkan oleh:

- a. tegangan-tegangan sentuh dan langkah karena sambaran langsung (0,01)
- b. kebakaran, ledakan, pengaruh mekanik dan kimia karena sambaran langsung dan tidak langsung (1,899)
- c. tegangan-tegangan lebih karena sambaran langsung dan tidak langsung (1,2)

Jadi secara keseluruhan, probabilitas yang timbul akibat sambaran petir (baik langsung maupun tidak langsung) berkisar 3,109 kali dalam 1 tahun.

4 SIMPULAN

Mengacu ke uraian tinjauan pustaka dan bahasan dapat ditarik simpulan seperti berikut:

1. Analisis kerusakan secara elektroteknik didasarkan kepada medan elektrik dan magnetik yang terjadi di titik-titik permukaan bumi pada jarak tertentu dari titik sambaran petir, sedangkan secara teknoekonomi didasarkan atas dua komponen pokok, yaitu besar investasi yang dikeluarkan pada saat pemasangan sistem proteksi dan besar ongkos pemeliharaan yang dikeluarkan setiap tahunnya.
2. Kuat medan yang timbul akibat sambaran petir harus mampu ditahan oleh peralatan-peralatan yang digunakan, agar tidak menimbulkan elevasi tegangan.
3. Untuk menghitung nilai risiko kerugian secara teknoekonomi pada tahun ke- yang lebih terukur, diperlukan penjabaran dan pengembangan lebih lanjut terhadap model dasar, yaitu perlu diketahui frekuensi sambaran petir () pada tahun ke- , nilai kerugian yang timbul bila terjadi kerusakan (), dan probabilitas (kemungkinan) terjadinya kerusakan () bila terjadi sambaran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT INTERPRIMA INDOCOM, *Lightning Protection System*, ____, Jakarta, tanpa tahun.
- [2] GOLDE, R.H., *Lightning Protection*, Academic Press, London, 1977.
- [3] HIDAYAT, Syarif, *Proteksi Petir Terpadu Pada Sistem Telekomunikasi*, Makalah Seminar Nasional Teknologi Petir 25 dan 26 November 1997, Himpunan Mahasiswa Elektro, Institut Teknologi Nasional, Bandung, 1997.
- [4] NEWMAN, D.G., *Engineering Economics Analysis*, Engineering Press Inc., New York, 1983.
- [5] FLISWOSKI Z, and MAZETTI C., *Risk Assesment Procedure for the Protection of the Electronics System Against Lightning*, Paper Presented at XXII ICLP, Budapest, 1994.
- [6] REFERENCE NUMBER CEI/IEC 1662: 1995, *Technical Report IEC 1662: Assessment of the risk of damage due to lightning*, Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Geneve, Suisse, 1995.
- [7] REFERENCE NUMBER CEI/IEC 1024-1-1: 1993, *International Standard IEC 1024-1-1: Protection of structure against lightning*, Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Geneve, Suisse, 1993.
- [8] NURBAHAGIA, Senator, *Risk Assesment Analysis*, Workshop on Lightning Protection System, PT Lapi Elpatsindo, Jakarta, Oktober 1997.
- [9] HIDAYAT, Syarif, *Characteristics of Lightning in Indonesia Observed by Lightning Location System*, Thesis, Dept. of Electrical Engineering, The University of Tokyo, Tokyo, 1996.
- [10] GOERITNO, Arief, *Karakteristik Petir di Jawa Bagian Barat Diobservasi Menggunakan Sistem Deteksi Time Difference And Direction*, Tesis, Program Pascasarjana Universitas Indonesia, Jakarta, 2000.
- [11] ZORO, Reynaldo, Sudaryatno Sudirham, *Indonesia Lightning Detection Network (JADPEN)*, Electropic, Jakarta, September 1996.