

Zona Perlindungan Petir Pada Gedung – E Sekolah Tinggi Teknologi Nasional (STTNAS) Yogyakarta Pasca Pembangunan Struktur Menara *LIFT-FRAME*

Budi Utama

Tenaga edukatif pada jurusan teknik elektro STTNAS Yogyakarta
Tlp. Kantor : 0274 485390 Tlp. Rumah : 0274 886783 HP : 08 1313 9999 53
Email : budiutamaduautama@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi perlindungan petir yang ditimbulkan oleh terminasi udara (*lightning rod*) pada Gedung – E STTNAS Yogyakarta pascapembangunan struktur menara *lift frame*. Atap gedung terbuat dari genteng beton dengan versi semi-Joglo (tradisional Jawa). Peluang sambaran petir ke struktur menara *lift-frame* diteliti pada desain terminasi udara yang sebelumnya telah terpasang.

Metoda penelitian dalam menginvestigasi peluang sambaran petir ke Gedung – E diteliti secara seksama, dan metoda bola gelinding (*Rolling Sphere Method*) digunakan dan diterapkan ulang terhadap struktur gedung-E dan struktur menara *lift-frame*. Disajikan juga kondisi zona dan perisai perlindungan untuk amplitudo petir : 10 kA, 15 kA, 20 kA, 25 kA, 30 kA, dan 50 kA.

Hasil penelitian dan investigasi menunjukkan bahwa struktur gedung – E dan struktur menara *lift frame* mengalami tingkat kegagalan desain perlindungan sebesar 0.833 untuk besar amplitudo petir 10 kA, 15 kA, 20 kA, 25 kA, 30 kA. Kegagalan desain perlindungan sambaran petir ini dikarenakan tidak ada sistem proteksi petir tambahan pada korpus-miring pada atap Joglonya dan pada puncak menara *lift-ramenya*.

Kata Kunci : Perlindungan Petir, Struktur, Menara, *Lift-Frame*.

1. Pendahuluan

Menurut suatu analisis dari catatan meteorologi oleh Brookes yang dikutip oleh Schonland (1964) mengatakan bahwa dalam satu tahun bumi mengalami 16 000 000 di terpa petir, dengan nilai rata rata 44 000 sambaran da lam satu harinya, ini berarti setiap jamnya ada 1 800 sambar an yang sedang berlangsung di bagian bumi yang ber beda. Semua sambaran itu sekitar kira kira 100 denyaran (*flash*) petir terjadi disetiap detik. Daerah/kawasan yang banyak kepadatan petirnya adalah pulau Jawa (Schon land, 1964). Pemunculan “alur pita ke bawah” (*down ward streamer*) dari sebuah petir selalu mencari “alur pita ke atas” yang dimunculkan oleh benda benda atau struk tur struktur yang berada dipermukaan tanah / bumi. Suatu

bangunan akan mengalami perubahan struktur atap jika pada bentangan atap disisipkan sebuah struktur baru.

Sistem proteksi petir (SPP), dalam hal ini terminasi udara atau *lightning rod* yang telah terpasang pada struktur atap akan mengakumulatifkan semua kemungkinan sambaran petir (yang bersesuaian dengan amplitudo arus petirnya), ketika terjadi kondisi udara yang tidak stabil dan kondisi semacam ini ditimbulkan oleh sebuah badai petir (*thunderstorm*) yang ditandai dengan kehadiran sebuah gugusan awan yang dikenal dengan nama awan *cumulonimbus*. Gedung-E Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta merupakan sebuah gedung yang mengalami perubahan

struktur *partial* pada bagian atap sisi utaranya. Perubahan ini merupakan bentuk *infill* yang ujung bagian atasnya menyorok ke atas dan bahkan menembus struktur atap yang sudah dibangun sebelumnya. Sementara itu, ke em pat terminasi udara (*lightning rod*) yang telah terpasang di atas korpus genteng mempunyai zona perlindungan untuk gedung E terhadap beberapa kemungkinan sambaran petir. Zona perlindungan yang tercipta ini adalah zona perlindungan ketika gedung-E belum terisi oleh sebuah struktur menara *lift frame* pada sisi utaranya. Jadi dapat dikatakan bahwa untuk merubah bentuk kontur struktur atap perlu diketahui bentangan dari zona perlindungan yang tercipta oleh terminasi udara yang diinstalasikan di atas korpus genteng. Terminasi udara yang dipasangkan di gedung-E merupakan proteksi petir konvensional. Isti-

lah konvensional disini mengandung arti bahwa sistem proteksi petir yang standard adalah bahwa yang sesuai dengan standard teknis atau ketentuan ketentuan yang praktis (Hartono, dan Robiah, 2004). Sistem proteksi petir (SPP) eksternal dibagi ke dalam dua jenis : Sistem Proteksi petir standard atau konvensional, dan sistem proteksi petir (SPP) yang tak-standard atau tak-konvensional.

1.1 Standardisasi Proteksi Petir

Sebagaimana banyak produk listrik di pasar, sebuah sistem proteksi petir wajib mematuhi standard teknis yang telah ditetapkan oleh

International Electrotechnical Commission (IEC) ketika sistem tersebut telah memenuhi rekomendasi yang telah ditetapkan di dalam standard, dan ini dikenal sebagai sebuah sistem proteksi petir standard. Standar proteksi petir biasanya dikembangkan oleh sebuah komite teknis yang terdiri dari kalangan akademisi, pakar dan praktisi industri yang memiliki pengetahuan di lapangan dan bertanggung jawab untuk memastikan bahwa sistem proteksi petir secara ilmiah telah divalidasi dan terbukti. Oleh karena itu dengan memenuhi standar, konsumen (misalnya, pemilik properti) akan meyakinkan bahwa

sistem proteksi petir akan memberikan perlindungan yang bermakna dan efektif terhadap bahaya petir. Beberapa

standar proteksi petir yang ada pada beberapa negara

dapat dikenali sebagai : (a). *International Electrotechnical Commission* (IEC) 61024 (International) ; (b). *British-Standard* (BS) 6651 (untuk Inggris Raya) ; (c). *National Fire Protection Association* (NFPA) 780 (untuk Amerika Serikat) ; (d). AS/NZL 1768 (untuk Australia dan New Zealand) ; (e). CP33 (untuk Singapura) ; (f). MS-IEC 61024 (untuk Malaysia) ; dan (g). Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-7015-2004 (untuk Indonesia).

1.2 Standardisasi Sistem Proteksi Petir

Komponen utama dari standard Sistem Proteksi Petir (SP P) adalah terminasi udara konvensional (*Franklin rod*) yang diciptakan oleh Benjamin Franklin sekitar tahun 1750. Setelah lebih dari 250 tahun batang Franklin masih digunakan di seluruh dunia dan baru-baru ini telah secara ilmiah divalidasi dalam dua studi besar yang dilakukan oleh *American Geophysical Union*, AGU, sebuah organisasi ilmiah bereputasi internasional, dan antar kelompok pengguna proteksi petir yang merupakan badan teknis yang mewakili pemerintah Amerika Serikat (Filpu Group, 2001). Komponen lain dari Sistem Proteksi Petir adalah konduktor turun (*down conductor*) dan terminal bumi. Fungsi dari konduktor turun adalah untuk menyalurkan surja arus petir dari batang Franklin ke terminal bumi. Fungsi dari terminal bumi adalah untuk menghilangkan surja arus petir ke dalam tanah secara efektif.

1.3 Sistem Proteksi Petir Non-Standard

Pada tahun 1970-an, dua jenis terminasi udara non-konvensional telah diciptakan kembali secara komersial dan diperkenalkan di pasar dunia (Hartono, dan Robiah, 2004). Hanya satu terminasi udara non-konvensional biasanya di pasang secara terpusat di atap sebuah bangunan seperti bungalow atau blok apartemen bertingkat tinggi. Namun, untuk bangunan dengan luas atap yang lebih besar, dua atau lebih terminasi

udara non-konvensional dapat diinstalasikan dan biasanya berjarak pada jarak tertentu terpisah dari satu sama lain. Terminasi udara non-konvensional ini diklaim mampu mencegah petir dari keterjadiannya oleh karena itu terminasi udara jenis ini dapat melindungi bangunan yang diproteksinya. Disisi lain, terminasi udara yang menarik petir mampu menarik petir ke arahnya agar supaya melindungi bangunan dimana terminasi udaranya telah terpasang. Pada kenyataannya, penemu terminasi udara non-konvensional ini tidak pernah mampu untuk memberikan dasar ilmiah terhadap penemuan mereka. Tak satu pun dari "karya ilmiah" mereka dapat menjelaskan bahwa terminasi udara jenis non-konvensional, selama 30 tahun terakhir ini telah diverifikasi atau terverifikasi secara independen oleh komunitas ilmiah (Hartono, dan Robiah, 2004). Pada awalnya, sistem "penarik" petir telah hadir dalam bentuk terminasi udara jenis/tipe radio aktif pada kisaran tahun 1970-an, dan kemudian sistem terminasi udara jenis ini kembali hadir dalam bentuk *Early Streamer Emission* (ESE) di akhir dekade tahun 1980-an.

1.4 Sistem Penarik Petir

Untuk terminasi udara sistem penarik petir, penemunya mengklaim bahwa terminasi udara jenis ini dapat menghasilkan beberapa "alur pita ke atas" (*upward streamers*) lebih awal daripada objek objek alam lainnya yang ada di permukaan bumi (maka istilah "*early streamer*" dikenal di awal tahun 1990-an). Untuk menghasilkan alur pita ke atas (*upward streamer*) ini, para penemunya menggunakan bahan radioaktif tapi ini digantikan dengan metode lain ketika penggunaan bahan radioaktif dilarang oleh pemerintah di seluruh dunia. Secara artifisial terminasi udara jenis ini diklaim mampu membuat hubungan (*contact*) dengan lidah alur ke bawah (*downward leader*) sebelum alur-pita (*streamer*) yang lainnya terjadi secara alami mampu melakukannya. Jadi dengan mekanisme penarikan (*attracting*) denyaran petir (*lightning flash*) ke (menuju) terminasi udara, sehingga petir tidak/bukan menuju ke arah struktur gedung yang diproteksi.

1.4.1 Terminasi Udara Radioaktif

Beberapa jenis terminasi udara radioaktif dikonstruksi seperti terminasi udara *Franklin* terkecuali untuk terminasi yang memiliki isotop radioaktif yang ditambahkan pada terminasi udaranya. Isotop radioaktif diklaim mampu mengionisasi terminasi udara yang dapat membantu dalam peluncuran beberapa alur pita (*streamer*). Dalam metode ini, para penemu mengklaim bahwa terminasi udara radioaktif dapat menarik petir hingga 100 m, sehingga memberikan cakupan perlindungan pada jarak radial yang sama. Oleh karena itu, hanya diperlukan satu

terminasi udara jenis radioaktif yang dilokasikan secara terpusat (ditengah tengah) untuk melindungi struktur bangunan besar dibandingkan dengan puluhan batang Franklin pd sistem proteksi petir (SPP) standard. Namun demikian, pernyataan tersebut dibantah pada tahun 1985 ketika beberapa akademisi dari Australia dan Singapura melakukan penelitian terhadap bangunan yang telah diinstal dengan proteksi petir radioaktif (Darveniza dkk., 1987). Dalam suatu studi yang telah dikerjakan oleh Darveniza (1987) di Singapura terungkap bahwa beberapa bangunan yang ditemukan telah disambar (bahkan rusak) oleh petir dalam zona radius perlindungan yang diciptakan oleh terminasi udara jenis radioaktif. Pada saat yang sama, terminasi udara radioaktif juga ditemukan menjadi berbahaya karena bahan radioaktif dapat hancur dalam cuaca dan dapat masuk ke tubuh manusia melalui rantai makanan atau melalui penghirupan debu radioaktif di udara. Akibatnya, penggunaan terminal udara radioaktif dilarang di seluruh dunia pada tahun 1987. Namun demikian, jenis radioaktif ini segera digantikan oleh sebuah terminasi udara generasi penarik petir yang baru, apa yang dikenal dengan nama terminasi udara tipe *Early Streamer Emission* (ESE).

1.4.2 Terminasi Udara *Early Streamer Emission* (ESE)

Ketika terminasi udara radioaktif dilarang diseluruh dunia produsen secara cepat memperkenalkan terminasi udara baru yang menggunakan cara-cara non-radioaktif untuk meluncurkan alur pita (*streamer*). (Singkatan populer ESE hanya diperkenalkan beberapa tahun kemudian di awal tahun 1990-an). Terminal udara ESE memanfaatkan selungkup logam yang dirancang di sekitar proteksi petir biasa untuk menciptakan ionisasi yang dapat menghasilkan alur pita buatan lebih awal dari yang alami. alur pita (*streamer*) memiliki panjang antara 50 sampai 100 meter (yaitu 10 kali lebih panjang). Beberapa studi ilmiah independen telah menunjukkan bahwa terminasi udara ESE gagal menangkap petir di laboratorium. Terminasi udara ini juga gagal untuk menangkap petir alami saat diuji di laboratorium penelitian dipuncak gunung di New Mexico, Amerika Serikat. Di Malaysia, studi fotografi kami menunjukkan bahawa terminasi udara ESE gagal untuk memproteksi beberapa bangunan dari sambaran oleh petir (Moore dkk., 2000).

1.4.3 Sistem Eliminasi Petir

Ada dua jenis sistem eliminasi petir yaitu pertama untuk dapat menghilangkan sambaran petir sementara dan yang kedua mampu untuk secara drastis mengurangi besarnya arus petir. Berikut di bawah ini jenis/tipe dari beberapa eliminasi petir,

a. *Dissipative Array System* (DAS)

Dissipative Array System merupakan salah satu dari beberapa sistem proteksi petir dan mampu untuk menghindarkan dari sambaran petir ke struktur bangunan. DAS ini juga dikenal dengan nama "*charge transfer systems*" (CTS) dalam beberapa tahun terakhir ini. Karena publikasi yang buruk pada terminologi DAS maka penemunya telah memperkenalkan konsep baru untuk menggambarkan penemuannya pada tahun 1999-an dan menamakannya sebagai sistem transfer muatan (*charge transfer system*, CTS). Namun demikian, pada tahun 2001, penemu telah diterapkan untuk standar yang diusulkan untuk CTS dari IEEE, sebuah organisasi internasional yang dikenal dengan standar teknisnya dalam teknologi listrik dan elektronik. Namun demikian, karena tidak adanya teori ilmiah untuk penemuan, standar yang diusulkan telah terhenti namun vendor masih terus menjual sistem di seluruh dunia dengan klaim bahwa standar IEEE sedang dikembangkan (Harto no, dan Robiah, 2004).

b. Eliminasi Petir Semikonduktor

Eliminasi petir semikonduktor atau *Semiconductor Lightning Eliminator* (SLE) ditemukan di Cina dan diklaim oleh penemunya untuk dapat mengurangi arus petir sebesar 99%, sehingga membuatnya aman untuk instalasi pada bangunan yang didalamnya terdapat sistem piranti elektronik yang sensitif. Di Malaysia, terminasi udara *Semiconductor Lightning Eliminator*, SLE, yang pertama dipasang pada tahun 2001 di sebuah pabrik petrokimia di pantai timur. Pada musim panas Zhang dan Liu (2004) telah melakukan percobaan (*experiments*) sambaran petir yang dipicu (*triggered*) yang bertujuan untuk menguji dan membandingkan fungsi proteksi petir terminasi udara dari jenis konvensional dan *Semiconductor Lightning Eliminator* (SLE) di Guangzhou, Cina Selatan, dan hasil percobaan ini menunjukkan bahwa telah terjadi keterikatan antara terminasi udara dan "lidah alur ke bawah" (*downward leader*) dan ketika SLE tersambar petir, lewat dengan nyar (*flashover*) terjadi dengan segera dan arus peluannya (ke bumi) terukur sebesar lebih dari 6 kilo-Amper.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi zona perlindungan yang terbentuk dari hasil performans/kinerja terminasi udara (*lightning rod*) dalam rangka memberikan perlindungan terhadap sambaran petir langsung, apakah zona perlindungannya masih mencakup struktur bangunan yang telah ditambah dengan struktur menara *lift frame* di sisi utara atap gedungnya, dan apakah terminasi udara masih mampu memberikan locus busur perisai perlindungan yang terpenuhi serta apakah masih mencakup ruang perlindungan untuk struktur menara *lift frame*-nya, atau belum mencakup sama sekali.

Sedangkan model yang di gunakan dalam mengevaluasi ini yaitu dengan penerapan model elektroteometris melalui aplikasi metoda bola ge linding (*rolling sphere method*).

2. Metode

Penentuan zona dan busur perlindungan yang dimunculkan oleh terminasi udara merupakan pemetaan ruang volume dan luas permukaan tanah yang terlindungi. Metoda yang digunakan untuk memvisualisasikan bentuk ruang (*space*) dan kontur permukaan tanah ini adalah metoda bola gelinding (*Rolling Sphere Method*). Metoda ini melibatkn model elektroteometris.

2.1 Modelling Bola gelinding

Model bola gelinding (*rolling sphere modelling*) dibuat dengan menggunakan persamaan (Anderson, 1987 dan IEEE, 1993) melalui variabel ds jarak sambaran dalam satuan meter dan I_p amplitudo sambaran petir dengan satuan kilo-Amper,

$$ds = (10) \cdot (I_p)^{0,65}$$

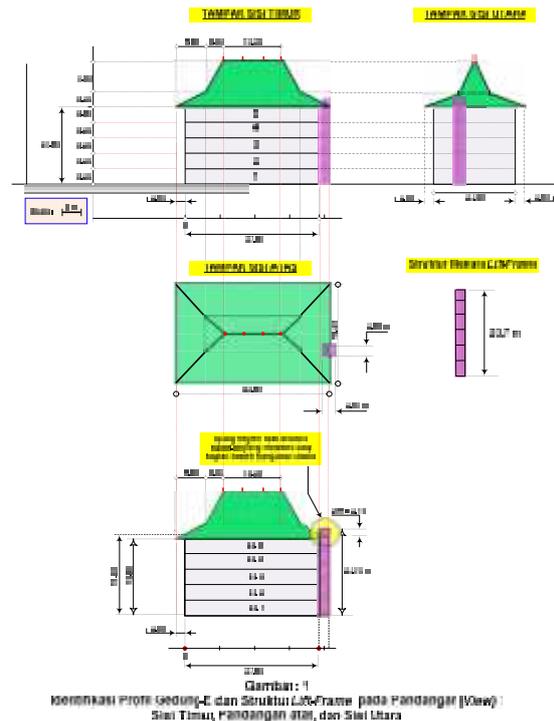
Sebagai jari jari bolanya. Jari jari bola ini disesuaikan dengan amplitudo arus petir. Amplitudo arus petir yang dipilih adalah 10 kA, 15 kA, 20 kA, 25 kA, 30 kA dan 50 kA, masing masing dgn tingkat keterjadiannya : 15 %, 15%, 15.5 %, 15.5 %, 17.5 %, dan 16.5 %.

2.2 Modelling Elektroteometris

Model ini memahami bahwa pengaruh tarikan (*attractive*) dari perangkat perlindungan merupakan fungsi dari amplitudo arus sambaran petir. Perlindungan dgn jarak sejauh R meter dari ujung lidah lompat (*stepped leader*) petir dapat menarik alur petir dan kemudian dilewatkan ke tanah melalui konduktor turun (*down conductor*) dari sistem proteksi petir (SPP) yang terpasang di bagian atap (atas) struktur bangunan. Model elektroteometris ini mengasumsikan bahwa perangkat perlindungan dapat mencegat (*intercept*) semua sambaran petir yang tiba di atas area struktur yg dilindungi apabila perangkat perlindungan ini mampu menjaga hubungan geometris tertentu. Model ini digunakan untuk melengkapi dalam mengaplikasikan metoda bola gelinding.

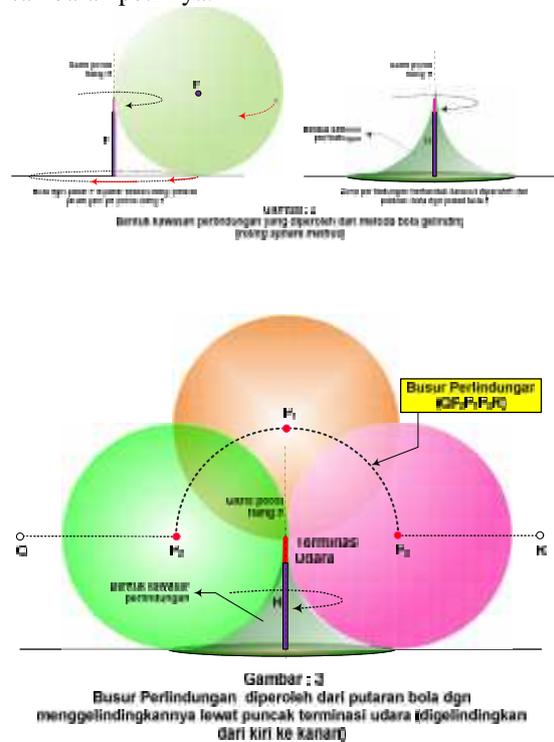
2.3 Modelling Struktur Gedung-E

Model struktur gedung-E dan struktur menara *lift-frame* tidak bisa dipisahkan satu sama lainnya. Model ini dapat digambarkan berikut,



2.4 Zona dan Perisai Perlindungan

Zona perlindungan yang tercipta oleh sebuah terminasi udara atau sebuah *lightning rod* dibentuk oleh penggelindingan atau putaran sebuah bola pada terminasi udara sebagai porosnya dengan jari jari bola sebesar jarak sambaran petirnya.



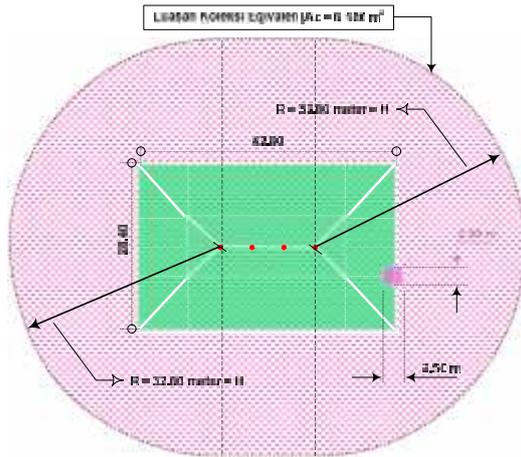
2.5 Analisis Data

2.5.1 Luasan Kolektif Ekvivalen Gedung-E

Luasan kolektif ekvivalen sebuah bangunan gedung adalah area permukaan tanah yang dianggap sebagai bangunan gedung yang mempunyai frekuensi sambaran petir lang sung setiap tahunnya. Data struktur Gedung-E dapat dilihat dan diperoleh dari gbr.1, dengan demikian luasan koleksi eqivalen (A_c) dapat dihitung,

$$A_c = (\pi \cdot (32.80)^2) + (2 \times 42.80 \times 32.80) = 6185.8$$

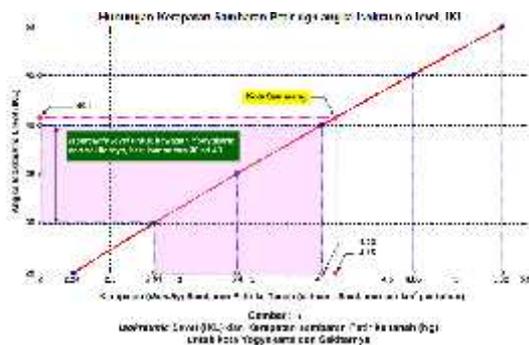
$$A_c \approx 6186 \text{ m}^2$$



Gambar : 4
 Luasan Koleksi Ekvivalen Gedung – E STTNAS Yogyakarta

2.5.2 Kerapatan Sambaran petir pada Gedung – E

Kerapatan sambaran petir suatu kawasan bergantung de ngan angka *isokraunic level* (IKL) dimana bangunan terse but berada. Untuk kota Yogyakarta diambil dalam kisaran angka IKL dari 30 sampai dengan 40. Hubungan antara angka IKL dan kerapatan sambaran petir ke tanah untuk kota Yogyakarta diberikan dalam gbr. 5.



Tabel : 1
 Kerapatan (density) Sambaran Petir di Kawasan Yogyakarta dan sekitarnya

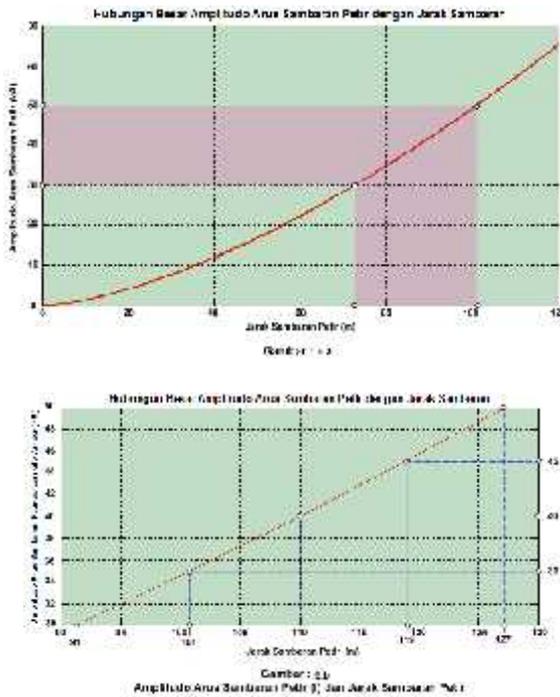
No.	Isokraunic-Level [Hari Guruh]	Kerapatan Sambaran Petir ketanah perkilo mater persegi per-tahun
1	25.00	2.236
2	26.00	2.348
3	27.00	2.462
4	28.00	2.576
5	29.00	2.692
6	30.00	2.808
7	31.00	2.926
8	32.00	3.044
9	33.00	3.164
10	34.00	3.284
11	35.00	3.405
12	36.00	3.527
13	37.00	3.650
14	38.00	3.774
15	39.00	3.898
16	40.00	4.024
17	41.00	4.150
18	42.00	4.277
19	43.00	4.404
20	44.00	4.533
21	45.00	4.662
22	46.00	4.792
23	47.00	4.922
24	48.00	5.054
25	49.00	5.186
26	50.00	5.318

Tabel : 2
 Amplitudo Arus Petir dan Jarak Sambaran Petir

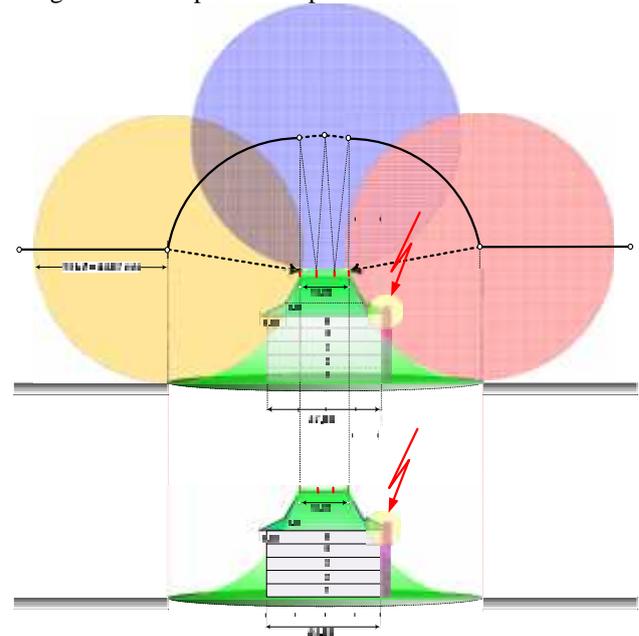
No	Amplitudo Arus petir [kilo Amper]	Jarak sambar (meter)
1	30.00	91.228
2	32.00	100.843
3	40.00	109.986
4	42.00	118.738
5	50.00	127.104

2.5.3 Jarak sambaran dan Arus Petir

Setiap sambaran petir membawa nilai amplitudo arus petir dan tingkat frekuensi keterjadiannya, sebagaimana ditun jukan tabel : 2 dan gbr. 6a dan gbr. 6b di bawah,

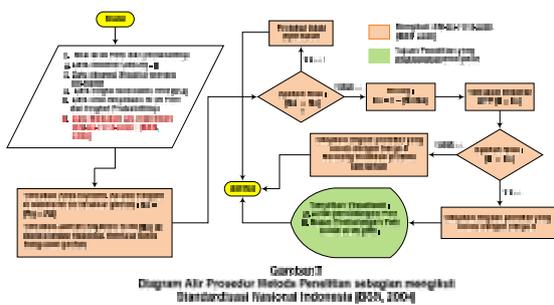


untuk 25 kA. Untuk amplitudo petir 30 kA sampai dengan 50 kA dapat dilihat pada tabel : 2 di atas.



2.5.4 Evaluasi Terminasi Udara pada Gedung-E

Sebagian pelaksanaan evaluasi terminasi udara dikerjakan dengan mengikuti Standard Nasional Indonesia, SNI-03-7015-2004, dan pada akhirnya menampilkan visualisasi zona perlindungan petir dan busur/perisai perlindungan petir terhadap gedung E STTNAS Yogyakarta. Secara keseluruhan dapat dilihat pada diagram alir berikut.



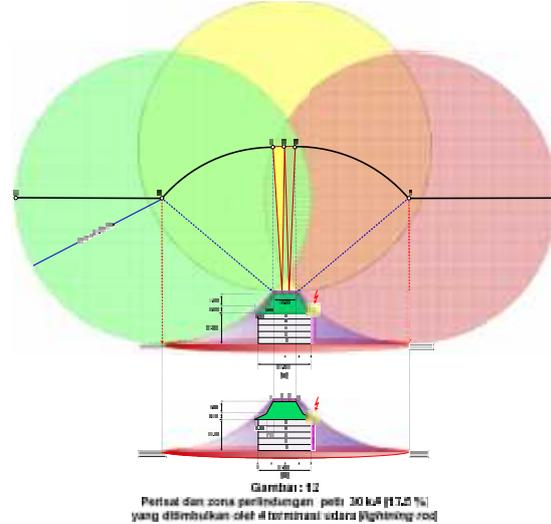
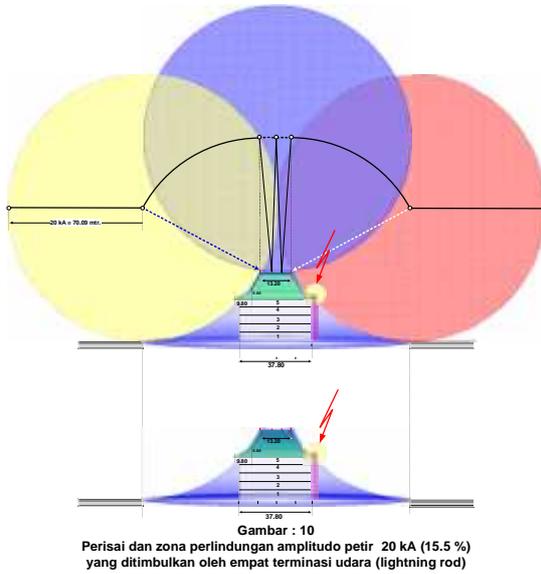
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari evaluasi terdiri dari hasil perhitungan sambaran petir ke gedung-E STTNAS Yogyakarta terhadap prediksi untuk angka IKL 30 sampai dengan 40. Juga disajikan visualisasi zona dan busur atau perisai perlindungan yang dimunculkan oleh ke empat terminasi udara (berbentuk batang vertikal, konvensional) untuk nilai amplitudo yang bervariasi dari 10 kA, 15 kA, 20 kA, 25 kA, 30 kA dan 50 kA. Masing masing mempunyai nilai frekuensi keterja diannya di bumi sebesar 15 % untuk 10 kA dan 15 kA, sedangkan untuk 20 kA sebesar 15.5 %, sama dengan amplitudo arus petir

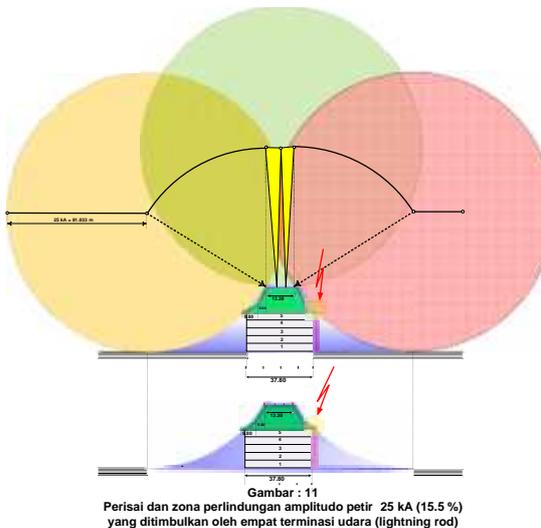
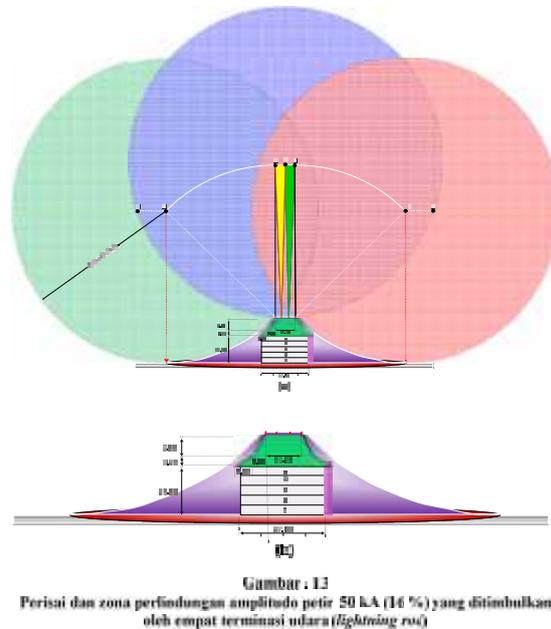
Gambar : 8 dan gambar : 9 adalah visualisasi zona dan bu sur perlindungan untuk arus sambaran petir sebesar 10 kA dan 15 kA. Untuk amplitudo arus 10 kA dan 15 kA ting kat keterjadiannya muncul di bumi masing masing sama, yaitu sebesar 15 %. Tampak pada gbr. 8 dan 9, ujung u jung atap terletak diluar zona perlindungan yang mengin dikasikan struktur atap tersebut sewaktu waktu dapat ter sambar oleh petir. Demikian juga yang terjadi terhadap struktur menara lift-frame setiap saat dapat tersambar lang sung oleh petir.

Ketinggian struktur menara *lift-frame* me lebih ujung atap gedung–E STTNAS Yogyakarta.

semakin aman dan terlindungi oleh sambaran petir yg. lebih besar, yaitu di atas 40 kA dan seterusnya.



Gambar : 10, Amplitudo petir sebesar 20 kA dapat menim bulkan titik perlindungan yang terbuka (ada celah) pada struktur menara *lift frame* sehingga titik tersebut berpo tensi untuk tersambar petir dengan amplitudo 20 kA.



Pada Gambar : 11, kondisi puncak menara *lift-frame* masih dalam berpotensi tersambar petir dengan amplitudo petir 25 kA. Gambar : 8, 9, 10, dan gambar : 11 terlihat menara *lift frame* masih dalam berstatus dan berpotensi disambar petir masing masing dengan amplitudo petir sebesar : 10 kA, 15 kA, 20 kA, dan 25 kA. Sementara itu, ujung atap dan korpus genting yang berposisi miring juga mengalami kondisi yang sama yaitu berpotensi untuk tersambar pe tir dgn. amplitudo yang disebutkan di atas. Untuk sambaran petir 30 kA dan 50 kA ujung ujung atap dan puncak menara *lift frame* menunjukkan kecenderungan

Pada gambar 13a, perisai atau busur perlindungan yang terbentuk adalah (ABCDEFGG) untuk amplitudo petir 50 kA dengan frekuensi keterjadiannya 16 %, terbentang berjarak 127.154 meter dari masing masing titik puncak terminasi udaranya. Setiap lidah petir yang menyentuh busur BC maka lidah petirnya akan ditangkap oleh terminasi udara (*lightning rod*) nomor 1 (paling kanan) dan apabila lidah petirnya menyentuh garis perisai AB atau garis perisai FG maka lidah petirnya akan diarahkan ke permukaan tanah. Kalau lidah petirnya menyentuh titih C maka lidah petirnya akan diarahkan keterminasi No. 1 atau no. 2. Demikian juga terjadi pada busur EF dan FG.

Tabel 3 Hasil Perhitungan Sambaran Petir pada Gedung-E STTNAS Yogyakarta

No	IKL	Kepadatan Petir (N _s) (sambaran per km ² per th)	Probabilitas sambaran petir (sambaran per th)	Komentar Kualitatif	
				EP (%)	IP
1	20	2.838	0.0174	71	IV
2	21	2.920	0.0181	72	IV
3	22	3.044	0.0188	73	IV
4	23	3.154	0.0195	74	IV
5	24	3.254	0.0202	75	IV
6	25	3.405	0.0211	76	IV
7	26	3.527	0.0218	77	IV
8	27	3.650	0.0226	78	IV
9	28	3.774	0.0234	79	IV
10	29	3.898	0.0243	79	IV
11	30	4.024	0.0249	80	IV

IKL = Isokraunick level EP = EP (End Point) IP = Low Point

Tabel 4 Hasil Investigasi Sistem Proteksi Petir Eksternal Gedung – E STTNAS

Catatan : Luasan Kolektif ekuivalen Struktur Gedung E = 6 186 m²

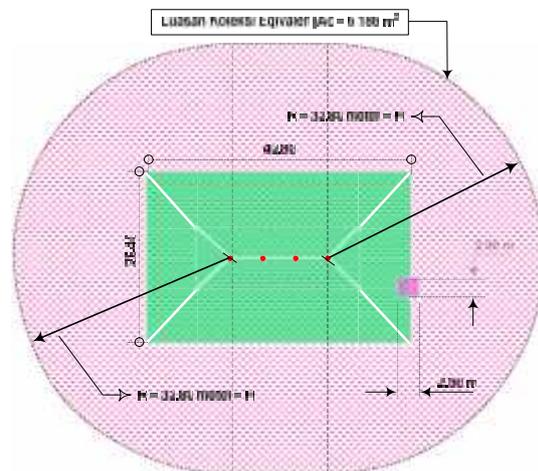
No	Arus Petir (kA)	Kawasan yg. terlin danggi oleh SPP (m ²)	Kualitas Struktur terhadap Sistem Proteksi Eksternal (Terminasi Udara)		Keterangan
			Bagian Ujung atap	Bagian struktur menara lift frame	
1	10 (15.5%)	7 750	Kepek miring kerucut samburan petir	Terkena sambaran petir hanya 10% ke terujungnya.	Direkomendasi kan untuk dileng kapi dgn. sistem proteksi petir (SPP) tambahan.
2	15 (15.5%)	9 174	Kepek miring kerucut samburan petir	Hanya 40% dari pusat struktur menara terkena sambaran petir	Direkomendasi kan untuk dileng kapi dgn. sistem proteksi petir (SPP) tambahan.
3	20 (15.5%)	10 714	Terkena sambaran petir	Terkena sambaran petir	Direkomendasi kan untuk dileng kapi dgn. sistem proteksi petir (SPP) tambahan.

Bersambung ke halaman berikutnya

Karena angka *isokraunick level* (IKL) kota Yogyakarta dan sekitarnya diambil dengan margin/kisaran antara : 30 dan 40 (sebagaimana ditunjukkan tabel 3) maka jumlah kepadatan sambaran petirnya akan berkisar mulai dari 2,8 per km² per tahun sampai dengan 4.024 per km² per tahun. Untuk seluruh nilai IKL yang terpapar di kawasan Yogyakarta dan sekitarnya kemungkinan akan tersambar petir sebanyak 1 kali dalam periode waktu 40 tahun s.d. 50 tahun. Pada tabel 4 terlihat bahwa luasan kawasan permukaan di lindungi oleh ke empat terminasi udara dapat mencakup luasan kolektif ekuivalen struktur yang sebesar 6 186 m² dengan betuk seperti ditunjukkan dalam gbr. 14.

Lanjutan tabel 3

No	Arus Petir (kA)	Kawasan yg. terlin danggi oleh SPP (m ²)	Kualitas Struktur terhadap Sistem Proteksi Eksternal (Terminasi Udara)		
			Bagian Ujung atap	Bagian struktur menara lift frame	Keterangan
4	25 (15.5%)	16 186	Hanya ujung atap saja ter kena sambaran petir	Bagian pusat struktur terkena petir	Direkomendasi kan untuk dileng kapi dgn. sistem proteksi petir (SPP) tambahan.
5	30 (17.5%)	22 750	Sangat ter lindungi untuk kawasan petir	Bagian pusat ter kena sambaran petir	Direkomendasi kan untuk dileng kapi dgn. sistem proteksi petir (SPP) tambahan.
6	30 (15.5%)	26 072	aman dan terlindungi terhadap sambaran petir	aman dan terlindungi terhadap sambaran petir	Tidak perlu ada sistem proteksi petir (SPP) tambahan.



Gambar 14 Luasan Kolektif Ekuivalen Struktur Gedung – E STTNAS Yogyakarta

Lima item (nomor 1 sd 5) dari enam item (nomor 6) pada tabel 4 mengalami kegagalan perlindungan dengan reko mendasi pada kolom keterangannya, dan hanya pada item nomor 6 terminasi udara berhasil sukses melindungi struktur bangunan gedung E dan struktur menara *lift-frame*-nya. Artinya sistem proteksi yang telah terpasang (dgn 4 terminasi udara) mempunyai kegagalan sebesar ; $(1 - (1/6)) = 0.833$ (83.3 %) untuk amplitudo petir 10 kA, 15 kA, 20 kA, 25 kA, dan 30 kA. Aspek desainer hanya berhasil pada tingkat probabilitas sebesar $0.1667 \approx 17\%$.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Setelah menganalisis setiap sambaran petir melalui meto da bola gelinding (*rolling sphere method*) terhadap gedung "E" - STTNAS Yogyakarta dapat disimpulkan beberapa hal berikut,

1. Bagian atap pada kontur 'korpus-miring' dan bagian ujung atap terkena sambaran petir langsung sedangkan korpus datarnya (lokasi keempat terminasi udara) tidak terkena sambaran petir (*lightning stroke*).
2. Amplitudo petir yang memukul struktur pada nomor 1 di atas berturut turut adalah : 10 kA (15 %), 15 kA (15 %), 20 kA (20 %), dan amplitudo 25 kA (15.5 %).
3. Sedangkan amplitudo petir : 10 kA, 15 kA, 20 kA, 25 kA, dan 30 kA dapat menyambar langsung ke struktur menara *lift-frame*.

4.2 Saran

1. Perlu menambahkan proteksi petir berupa kawat tembaga disepanjang 'korpus-miring' dari kontur atap & terminasi udara tambahan masing masing di keempat ujung atap bangunan gedung E.
2. Paling tidak pada puncak struktur menara *lift-frame* ditambahkan satu terminasi udara yang diikuti konduktor turun (*down-conductor*) menuju terminal *grounding*.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada :

1. Bapak Ketua Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta.
2. Kepala P3M Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta, dan
3. Semua pihak yang telah membantu proyek penelitian ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu, tanpa bantuan pihak pihak tersebut di atas hasil penelitian ini tidak akan terwujud sama sekali.

Daftar Pustaka

- Anderson, JG., 1987, "Chapter 1 of Transmission Line Reference Boo 345 kV and above", 2nd Ed. Rev. Palo Alto, California : Electric Power Research Institute, 1987.
- Darveniza, M., Mackerras, D., & Liew, AC., 1987, "Standard and Non-standard Lightning Protection Methods", Journal of Electrical and Electronics Engineering, Australia, 1987. Filpu Group., 2001., "The Basis of Conventional Lightning Protection Technology", A review of the scientific development of conventional lightning protecti on technologies and standards., Report of the Federal Interagency Lightning Protection User Group June 2001.
- Hartono, ZA., Robiah, I., 2004., "Conventional and Unconventional Lightning Air Terminals" : An Overview, Forum on Lightning Protection, Januari 2004. IEEE Working Group, 1993., "Estimating Lightning performance of Transmission Line II (Update to analytic Models)", IEEE

- Transactions on Power Delivery, vol. 8, No. 3, pp. 154 – 1267, July, 1993.
- Moore, G.D. Aulich, and Rison, 2000. Measurements of Lightning Rod Responses to Nearby Strikes", Geophysical Research Letters, Vol. 27, No. 10, pp.1487- 1490 May 15, 2000 Schonland, SB., 1964, "The Flight of Thunderbolts", 2nd. Edn., 1964, halaman : 65 – 66, Clarendon Press., Oxford.
- Zhang, Y., and Liu, X., 2003. , "Experiment of artificially triggered lightning to lightning rod and semiconductor lightning eliminator", International Conference on Atmospheric Electricit (ICAE) France, Juni 2003.