

# Studi Proteksi Pengaman Petir dan Pentanahan di Bandar Udara Tjilik Riwut Palangka Raya Kalimantan Tengah

Chasib Atsqolani. A.Md., I Gusti Ngurah Satriadi Hernanda S.T., M.T., Ir. R. Wahyudi  
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: chasib12@mhs.ee.its.ac.id; didit@ee.its.ac.id; wahyudi@ee.its.ac.id

*Abstrak — Sistem Perlindungan Eksternal dari bahaya sambaran petir yang sudah di pasang di area lokasi Bandar Udara Tjilik Riwut Palangka Raya propinsi Kalimantan Tengah saat ini menggunakan metode jarak perlindungan. Yaitu dengan menggunakan jarak perlindungan dengan radius tertentu untuk masing masing peralatan penyalur petir yang dipasang pada ketinggian tertentu. Metode ini mengikuti sebagaimana yang sudah di sampaikan oleh data teknis dari peralatan yang sudah dikeluarkan oleh pabrikan pembuat perangkat tersebut. Sistem perlindungan petir yang digunakan juga harus tetap mengacu pada standar yang berlaku. Dengan mengacu pada IEC 62305-3 sistem perlindungan petir yang terpasang dilakukan pemodelan dengan menggunakan metode yang sudah disebutkan di dalam IEC 62305-3 yaitu dengan metode bola gelinding dan metode sudut perlindungan. Setelah dilakukan pemodelan ternyata sistem yang sudah terpasang di bandar udara masih belum memenuhi kriteria dari IEC 62305-3 untuk melindungi area penunjang dari bandara Tjilik Riwut secara keseluruhan.*

Kata kunci : IEC 62305-3, Jarak perlindungan, Metode bola gelinding, Metode sudut perlindungan Standar, Sistem perlindungan eksternal dari bahaya sambaran petir,

## PENDAHULUAN

Sistem perlindungan petir yang sudah dibangun di Bandar Udara Tjilik Riwut juga harus dipastikan bisa melindungi dengan baik dari resiko bahaya yang ditimbulkan oleh sambaran petir. Untuk itu diperlukan suatu acuan standar untuk mengevaluasi apakah sistem yang sudah dibangun bisa memberikan perlindungan dengan maksimal atau tidak. Dengan mengacu pada standar IEC 62305-3, akan kita evaluasi peralatan penyalur petir dan sistem pentanahannya apakah sudah dapat melindungi area atau bangunan dimana perangkat penyalur petir tersebut berada.

Sesuai dengan yang terdapat di dalam IEC 62305 perlindungan sambaran petir eksternal bisa dilakukan dengan cara memberikan peralatan penyalur petir pada bangunan atau daerah yang akan di lindungi. peralatan penyalur petir tersebut berupa batang konduktor yang berfungsi sebagai penerima (*Air Terminal*), konduktor untuk penyalur menuju sistem pentanahan (*Down Conductor*) dan sistem pentanahan

(*Earthing Sistem/Ground Rod*). Sistem perlindungan petir eksternal dilakukan dengan cara memberikan suatu area perlindungan yang di bentuk oleh batang-batang konduktor yang di letakkan di bagian luar bangunan. Area perlindungan tersebut bisa di bentuk dengan metode Bola Bergulir / Gelinding, metode Sudut Perlindungan dan metode jala-jala.

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian pada penelitian ini : digunakan standart IEC 62305-3 sebagai acuan literatur standart dalam pemasangan suatu instalasi penyalur petir beserta peralatan pendukungnya. Data diperoleh dari Studi dan pengumpulan data informasi mengenai kondisi aktual di lapangan dari narasumber yang berhubungan langsung dengan teknis di lokasi guna mendapatkan data yang benar-benar valid.

Data beserta informasi yang sudah diperoleh kemudian dianalisa secara teoritis dan teknis serta perhitungannya. Data dianalisa mengenai sistem penyalur petir yang sudah terpasang pada area Bandar Udara apakah mampu mengamankan seluruh area Bandar Udara baik dari sambaran langsung maupun tak langsung. Setelah dilakukan studi analisa kemudian akan ditentukan bagaimana solusi perbaikan dari kondisi yang ada sehingga diharapkan nantinya sistem pengaman petir yang sudah ada dapat bekerja secara maksimal.

## HASIL DAN DISKUSI

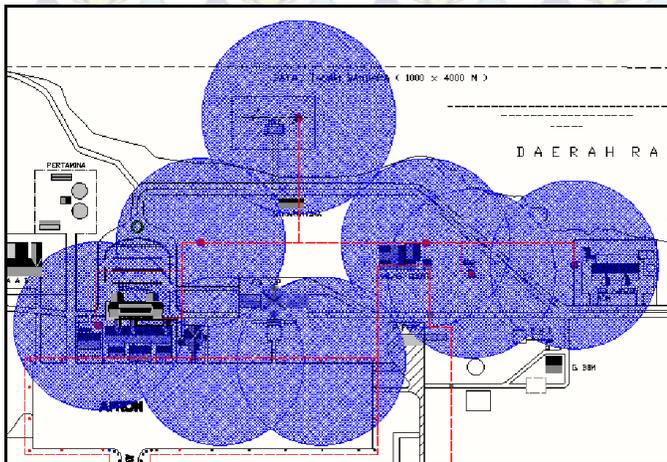
### *Sistem Perlindungan Petir Yang Sudah Terpasang di Bandar Udara Tjilik Riwut*

Sistem perlindungan petir yang diaplikasikan di Bandar Udara Tjilik Riwut Palangka Raya saat ini menggunakan beberapa titik *tower* penyalur petir yang menggunakan produk dari suatu pabrikan yang dari data teknis yang dikeluarkan oleh pabrikan menyatakan bahwa peralatan tersebut mampu memberikan perlindungan pada suatu area dengan jarak tertentu sesuai dengan tipe peralatan yang digunakan. Berdasarkan data resmi dari pabrikan peralatan penyalur petir yang digunakan jarak perlindungan dari peralatan petir yang digunakan yaitu

**Tabel 1** Jarak Perlindungan Peralatan yang digunakan

Ketinggian Instalasi penyalur petir (meter Alt)	Jarak Perlindungan dari titik menara (meter)
10	88
20	109
30	120
50	134
80	134
100	134
120	134

*Tower* penyalur petir yang terpasang di area terminal dan administrasi Bandar Udara Tjilik Riwut Palangka Raya ada 6 unit *tower* yang tersebar di beberapa titik dan tambahan 2 unit penyalur petir yang diletakkan di atas lampu penerangan area *Apron*. *Tower-tower* untuk peralatan penyalur petir yang dipasang tersebut memiliki ketinggian rata-rata 20 meter, sehingga jarak perlindungan sesuai dengan yang tertera di tabel 1 yaitu untuk ketinggian 20 meter jarak perlindungannya mencapai 109 meter dari titik *tower*.



**Gambar 1** Area perlindungan penyalur petir yang terpasang.

Dapat dilihat pada gambar 1 bahwa berdasarkan spesifikasi teknis dari peralatan penyalur petir area perlindungan sudah hampir melindungi seluruh wilayah administrasi bandara.

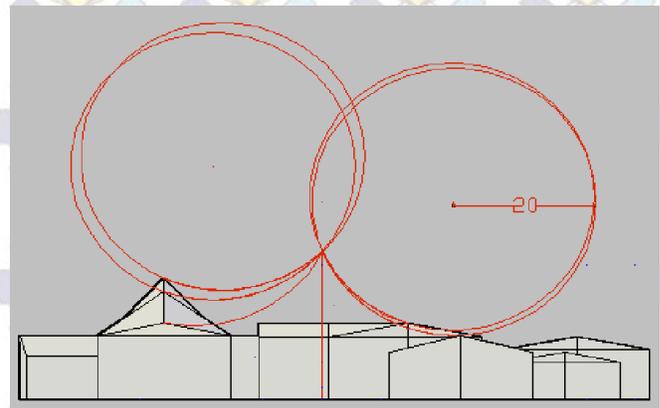
**Sistem Perlindungan Petir di Bandar Udara Tjilik Riwut Sesuai IEC 62305-3**

Sesuai dengan acuan standar yang kita gunakan dalam pembahasan ini yaitu IEC 62305-3. Sistem perlindungan petir eksternal menggunakan metode konvensional yang yaitu dengan metode Sudut Perlindungan, metode Bola Bergulir serta metode Jala-Jala.

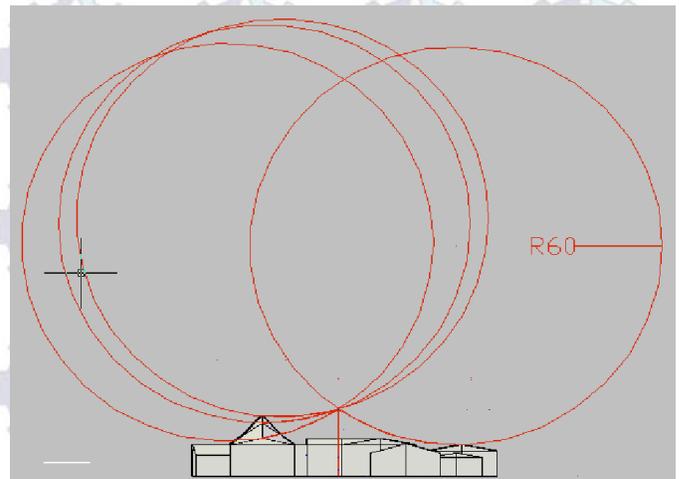
Dengan menggunakan metode yang ada di dalam IEC 62305-3 peralatan penyalur petir yang sudah terpasang dimodelkan menggunakan perangkat lunak. Hal ini kita melihat apakah sistem yang ada sudah dapat melindungi seluruh lokasi yang dilindungi atau belum jika merujuk pada standar yang digunakan.

Metode yang digunakan dalam permodelan dengan perangkat lunak menggunakan metode sudut perlindungan dan metode bola bergulir. Sedangkan untuk kelas perlindungan dari kelas 1 sampai kelas 4 yang ada di dalam IEC 62305 kita pilih kelas 1 dan kelas 4 untuk permodelan. Hal ini dilakukan untuk menggambarkan sistem perlindungan yang ada mulai dari kelas yang paling tinggi sampai dengan ketentuan minimum yaitu kelas 4 apakah sudah dapat melindungi area tersebut atau tidak.

Dari hasil permodelan dengan perangkat lunak menggunakan metode sudut perlindungan dan metode bola bergulir untuk kelas 1 dan kelas 4. Bisa digambarkan pada gambar-gambar di bawah ini.

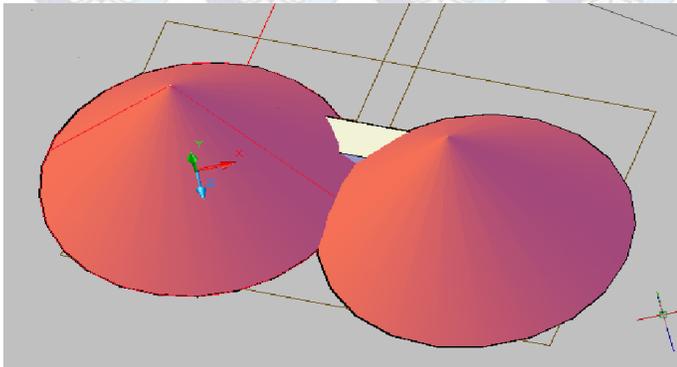


**Gambar 2** Area perlindungan penyalur petir pada bangunan Terminal Dan Cargo menggunakan metode bola bergulir perlindungan level I

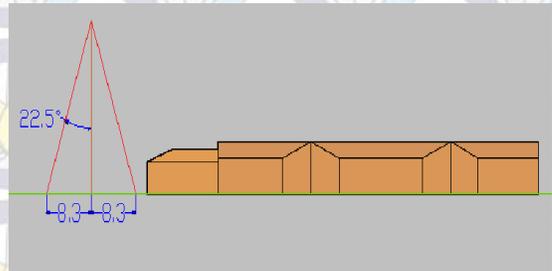


**Gambar 3** Area perlindungan penyalur petir pada bangunan Terminal Dan Cargo menggunakan metode bola bergulir perlindungan level IV

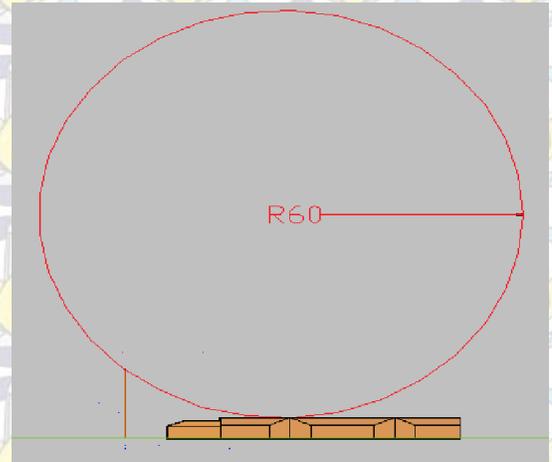
Dapat terlihat dengan menggunakan metode Bola Bergulir untuk area terminal dan cargo masih belum sepenuhnya terlindungi. Dan begitu pula untuk lokasi lain kita lakukan permodelan untuk menguji sistem perlindungan petir yang ada



**Gambar 4** Area perlindungan penyalur petir pada lokasi Non Directional Beacon (NDB) menggunakan metode sudut perlindungan level IV

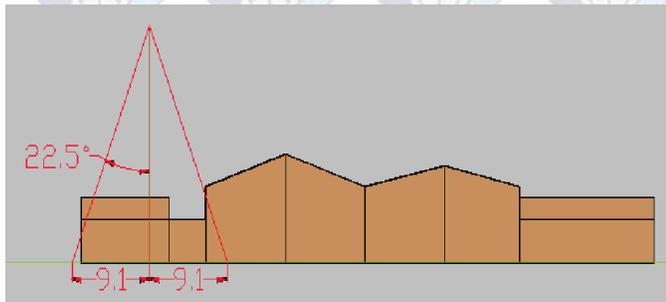


(a)

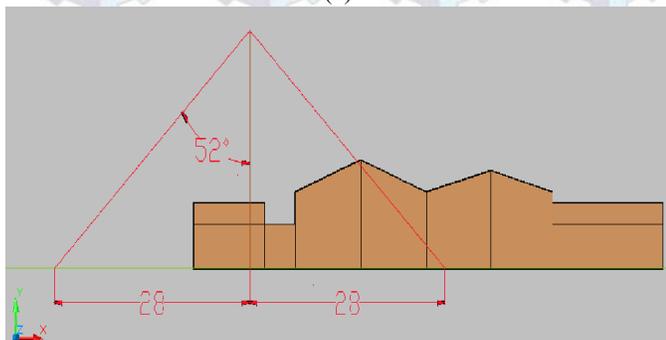


(b)

**Gambar 7** Area perlindungan penyalur petir pada Kantor Administrasi Bandara menggunakan metode (a) sudut perlindungan level I dan (b) Bola Bergulir Level IV



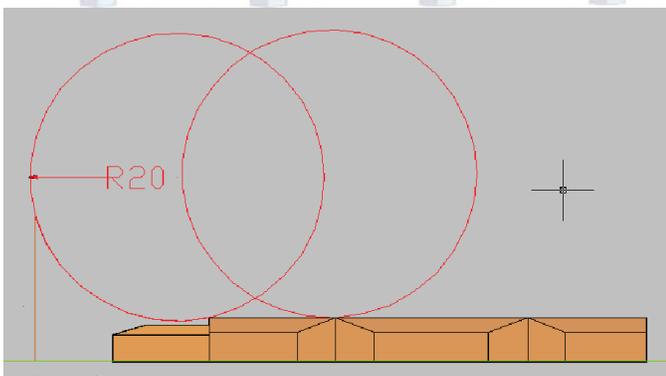
(a)



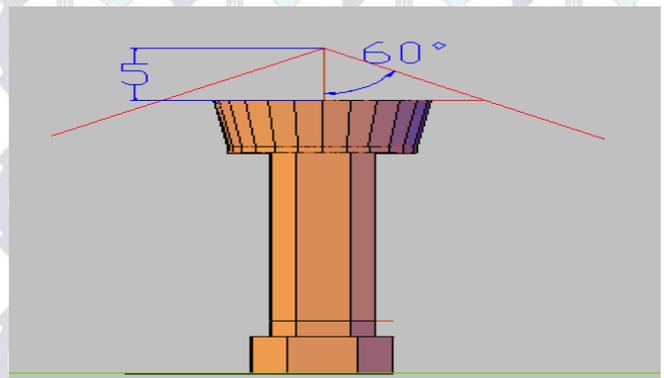
(b)

**Gambar 5** Area perlindungan penyalur petir pada bangunan Power House menggunakan metode sudut perlindungan (a) level I dan (b) Level IV

Pada Perlindungan petir untuk bangunan NDB, Power House serta kantor Administrasi Bandara dalam simulasi menggunakan perangkat lunak di peroleh hasil bahwa semua lokasi tersebut tidak memenuhi persyaratan IEC 62305-3. Hal tersebut terlihat dari hasil permodelan yang menunjukkan bahwa baik dengan metode sudut perlindungan maupun metode bola bergulir dengan kelas perlindungan level I maupun Level IV, area pelindungan belum bisa melingkupi seluruh wilayah bangunan masing-masing. Kemudian yang juga akan kita lakukan permodelan yaitu pada bangunan menara *Air Traffic Controller (ATC)* sebagaimana pada Gambar Berikut



**Gambar 6** Area perlindungan penyalur petir pada bangunan Power House menggunakan metode sudut perlindungan level I



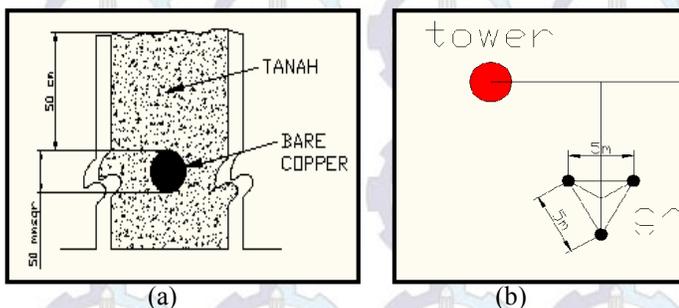
**Gambar 8** Area perlindungan penyalur petir menara ATC menggunakan metode sudut perlindungan level I

Pada menara *ATC* dengan menggunakan metode sudut perlindungan kelas perlindungan Level I, dengan ketinggian menara penyalur petir 5 meter di atas bangunan menara *ATC* sudah mampu memenuhi persyaratan dari IEC 62305-3 untuk bisa melindungi bangunan menara *Air Traffic Controller*.

### ***Sistem Pentanahan Untuk Proteksi Petir Yang Terpasang di Bandar Udara Tjilik Riwut Sesuai dengan IEC 62305-3***

Sistem pentanahan untuk penyalur petir yang digunakan di Bandar Udara Tjilik Riwut pada masing-masing tower penyalur petir dilengkapi dengan pentanahan dengan batang tembaga yang di tanam sedalam 2.5 meter. Batang tembaga yang ditanam untuk pentanahan masing-masing tower penyalur petir terdiri dari 3 buah batang tembaga yang ditanam dengan dengan posisi segitiga sama sisi dengan jarak antar batang tembaga sebesar 5 meter menggunakan kabel tembaga tanpa isolasi (*bare copper conductor*). Tiga buah batang tembaga tersebut dihubungkan secara ring dan bintang, yaitu selain tiap batang konduktor saling dihubungkan satu sama lain, setiap batang konduktor juga dihubungkan menuju satu titik koneksi dengan kabel penyalur (*down conductor*) dari tower penyalur petir. Sistem tersebut digunakan secara identik pada tiap lokasi tower penyalur petir.

Sistem pentanahan pada setiap tower dikoneksikan dengan seluruh tower penyalur petir menggunakan kabel tembaga tanpa isolasi dengan luas penampang  $50\text{mm}^2$ . Saluran koneksi kabel tembaga tersebut ditanam dalam tanah dengan kedalaman 50cm dari permukaan tanah. Jalur tersebut tersambung secara paralel dengan semua peralatan penyalur petir yang ada.



**Gambar 9** (a) Jalur Kabel Pentanahan Di Dalam Tanah (b) hubungan pada pentanahan setiap tower

Penggunaan konduktor dengan diameter  $50\text{mm}^2$  sudah sesuai dengan apa yang di persyaratan dalam IEC [2, *tabel 6. Material, configuration and minimum cross-sectional area of air termination conductor, air termination rods, earth lead-in rods, and down conductors*]. Dimana untuk material konduktor bila menggunakan *copper stranded* harus memiliki luas penampang sebesar  $50\text{mm}^2$ .

Kemudian untuk tahanan tanah yang dipersyaratkan sesuai sesuai dengan IEC 62305-3 harus memiliki tahanan tanah dibawah 10 Ohm, dan dari hasil pengukuran diperoleh bahwa tahanan tanah sudah mendapat nilai antara 3.52 Ohm sampai dengan 4.28 Ohm. Untuk peletakkan kabel pentanahan sesuai

IEC 62305-3 harus ditanam dengan kedalaman minimum 0.5 meter, dan hal ini juga sudah dilakukan di area Bandar Udara Tjilik Riwut.

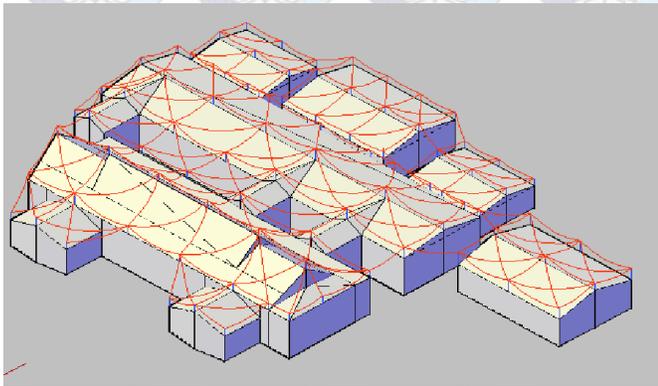
Jika merujuk pada kriteria yang dipersyaratkan IEC 62305-3 sistem pentanahan yang terpasang di Banda Udara Tjilik Riwut sudah memenuhi persyaratan minimal yang di tetapkan di dalam IEC 62305-3 untuk menunjang sistem yang saat ini sudah ada sebagai sistem perlindungan petir. Namun karena untuk sistem penyalur petirnya sendiri masih belum sesuai dengan IEC 62305-3, maka jika sistem *air termination* untuk penyalur petir akan di sesuaikan dengan persyaratan yang ada di dalam IEC 62305 maka sistem pentanahan mutlak diperlukan adanya perubahan untuk menunjang sistem yang baru

### ***Studi Perancangan Penyalur Petir Serta Pentanahan di Area Terminal dan Cargo Bandar Udara Tjilik Riwut Palangka Raya Sesuai dengan IEC 62305***

Dalam bahasan ini akan dibahas desain perancangan pengamanan petir untuk area Terminal dan Cargo Bandar Udara Tjilik Riwut sesuai dengan standar yang sudah di atur dalam IEC 62305-3 sehingga dapat digunakan sebagai acuan untuk perbaikan di area yang lain. Metode yang akan digunakan yaitu metode bola bergulir sedangkan kelas perlindungan yang akan dipilih akan tetap mengutamakan tingkat perlindungan yang paling tinggi yaitu level I.

Elektroda Terminasi Udara akan menggunakan batang Konduktor dengan luas penampang  $50\text{mm}^2$ . Untuk ketinggian dari batang conductor yang akan di gunakan sebagai terminasi udara mengacu pada ketinggian maksimum sesuai dengan *Obstacle area* untuk area terminal. Ketinggian dari bangunan yang ada di titik paling dekat dengan zona A1 yaitu 9.3 meter sedangkan untuk *Obstacle* ketinggian maksimumnya mencapai 11.71 meter. Maka panjang elektroda yang akan digunakan memiliki panjang maksimum dari atap 2,41 meter untuk area terdekat, tetapi untuk area terjauh bisa tetap menyesuaikan tentunya dengan metode perhitungan yang sama. Jika menggunakan konduktor dengan panjang 2 meter ( kedalaman lengkungan maksimum bola gelinding diantara dua konduktor kurang dari 2 meter) diperoleh jarak antar batang konduktor tidak boleh melebihi 17.44 meter, tetapi tentunya juga tetap menyesuaikan dengan struktur arsitektural dari bangunan yang ada, karena kondisi perhitungan di atas berlaku jika di lakukan pada area dengan elevasi yang sama.

Pada permodelan dengan menggunakan perangkat lunak, menggunakan metode dan parameter sebagaimana di bahas pada bab sebelumnya kita peroleh model perlindungan petir pada bangunan terminal dan cargo sebagaimana pada gambar berikut



**Gambar 10** Daerah perlindungan penyalur petir menggunakan batang konduktor yang diletakkan di atas bangunan terminal dan cargo.

Kemudian setelah kita lakukan permodelan dan kita pastikan bahwa semua area bangunan masuk dalam area perlindungan. Kemudian harus kita perhatikan apakah peralatan penyalur petir yang sudah di pasang pada bangunan terminal masih memenuhi persyaratan dalam daerah *Obstacle Area*. Berikut model bangunan dan peralatan penyalur petir dengan batasan *Obstacle Area*. Pada permodelan dengan perangkat lunak di menunjukkan bahwa perangkat penyalur petir masih berada di dibawah zona obstacle area sebagaimana terlihat pada gambar 11.



**Gambar 11** Sistem Perlindungan Petir Untuk Area Terminal Dan Posisinya Dalam *Obstacle Area*

Kemudian akan kita rancang juga untuk sistem pentanahan yang akan di gunakan di bangunan terminal Bandar Udara Tjilik Riwut Palangka Raya. Untuk susunan sistem pentanahan yang akan kita gunakan yaitu menggunakan susunan tipe B yaitu tipe “Ring”. Tipe *ring* ini menggunakan konduktor pentanahan yang ditanam di samping bangunan dengan jarak sekitar 1 meter dari bangunan. Konduktor pentanahan yang digunakan menggunakan tembaga *stranded* dengan luas penampang 50mm<sup>2</sup>.

Pentanahan *ring* yang dibuat membutuhkan tambahan elektroda pentanahan bila jari-jari lingkaran ( $r_c$ ) dari rata-rata luasan lingkaran dari luasan seluruh area di dalam dalam konduktor pentanahan ring lebih besar dari panjang seluruh kabel pentanahan ( $l$ ). Tambahan konduktor pentanahan dapat dikoneksi secara horisontal maupun vertikal dari sistem pentanahan ring yang sudah di pasang. Jika kita bandingkan jari-jari  $r_c$  dengan panjang seluruh konduktor pentanahan maka, jika luasan area *ring* yang akan digunakan sebagai

pentanahan di area terminal dan cargo adalah 6854m<sup>2</sup> dan kita masukkan ke dalam persamaan

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (\text{persamaan 1})^{[2]}$$

Jika  $A = 6854 \text{ m}^2$ , maka

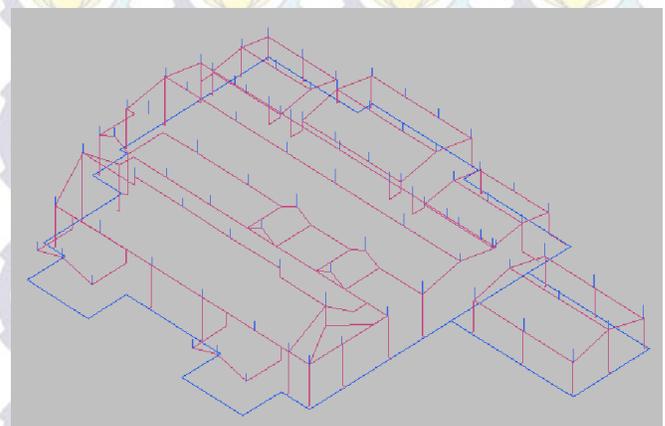
$$r = \sqrt{\frac{6854A}{\pi}} = 46.7$$

Jika panjang kabel pentanahan *ring* mencapai lebih dari 200 meter, maka sesuai IEC 62305-3 tidak diperlukan adanya penambahan konduktor pentanahan. Sedangkan untuk *Down conductor* yang akan di pasang untuk kabel turunan sesuai dengan dengan tabel berikut

**Tabel 2** Jarak Typical Antar Konduktor Turunan Sesuai Dengan Kelas LPS <sup>[2]</sup>

Class of LPS	Typical distances m
I	10
II	10
III	15
IV	20

Dari Tabel 2 diperoleh untuk kelas perlindungan I jarak antar konduktor turunan yaitu 10meter. Namun tentu saja hal ini tetap memperhatikan arsitektural dari bangunan yang akan di pasang peralatan penyalur petir. Dari data serta perhitungan yang telah dilakukan maka dapat di buat suatu design model untuk peralatan pengaman dari bahaya sambaran petir untuk bangunan Terminal dan Cargo di Area Bandar Udara Tjilik Riwut Palangka Raya mulai dari batang konduktor untuk terminasi udara, konduktor turunan untuk penyalur batang konduktor terminasi udara dengan konduktor pentanahan, sebagaimana pada gambar 12 berikut.



**Gambar 12** Tampak Isometrik Rancangan *Air Terminal*, Kabel Turunan Dan Jalur Pentanahan

## KESIMPULAN

Setelah melakukan Analisa dan pemodelan mengenai sistem perlindungan petir di Bandar Udara Tjilik Riwut Palangka Raya propinsi Kalimantan Tengah di dapat bahwa sistem perlindungan petir yang di gunakan di Bandar Udara Tjilik Riwut saat ini mengacu pada data teknis peralatan yang digunakan sebagai peralatan penyalur petir. Peralatan perlindungan petir tersebut menggunakan suatu metode yang di sebut dengan ESE (*Early Streamer Emission*). Dimana dengan metode ini peralatan petir yang di gunakan mampu memberikan perlindungan pada suatu luasan area tertentu bergantung pada ketinggian letak perangkat tersebut dan tipe produk yang digunakan.

Namun jika kita merujuk pada standar yang ada dan digunakan secara umum, khususnya dalam hal ini IEC 62305, metode perlindungan petir dengan menggunakan ESE masih belum di masukkan dalam standar yang telah diterbitkan. Pada IEC 62305 masih mempertahankan pola perlindungan dengan menggunakan metode konvensional dengan 3 metode yaitu bola gelinding, sudut perlindungan (kerucut), dan metode *Mesh* atau yang biasanya disebut juga metode Jala-jala. Metode ESE belum dimasukkan dalam standar IEC 62305 dengan alasan dari beberapa kali pengetesan untuk sistem ESE masih tidak ditemukan perbedaan yang signifikan dengan menggunakan metode konvensional yang sudah di masukkan dalam IEC 62305 [7].

Mengacu pada data teknis dari peralatan pengaman petir yang di gunakan yaitu dengan mengaplikasikan metode ESE, sistem perlindungan petir yang di terapkan saat ini di Bandar Udara Tjilik Riwut saat ini sudah mampu menjangkau dan mengamankan hampir di keseluruhan area lokasi administratif Bandar Udara Tjilik Riwut. Namun apabila mengacu pada standar IEC 62305 dari hasil analisa dan permodelan diperoleh hasil bahwa sistem perlindungan petir yang ada masih belum mampu melindungi seluruh lokasi bangunan administratif di Bandar Udara Tjilik Riwut Palangka Raya. Untuk area yang sudah memenuhi kriteria perlindungan sesuai dengan IEC 62305 hanya area menara *ATC* yang sudah mampu melindungi bangunan menara dari bahaya gangguan petir yang mungkin terjadi.

Untuk sistem pentanahan yang terpasang saat ini, dari hasil analisa menunjukkan bahwa sistem yang ada sudah memenuhi apa yang dipersyaratkan dalam IEC 62305. Baik dari cara pemasangan maupun material yang digunakan memenuhi apa yang sudah di persyaratkan dalam IEC 62305. Begitu juga dengan tahanan pentanahan yang diperoleh dari hasil pengukuran juga sudah berada di bawah nilai yang di anjurkan dalam IEC 62305.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEC 62305-1 "*Protection against lightning – Part 1: General principle*", International Electrotechnical Commission (IEC), 2010
- [2] IEC 62305-3 "*Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard*", International Electrotechnical Commission(IEC), 2010

- [3] DEHN + SOHNE, "*Lightning Protection Guide – revised 2nd edition*", DEHN, 2012
- [4] Diklat Airfield Lighting System, "*Standar manual bagian 139 Aerodrome*", Akademi Teknik Keselamatan Penerbangan Surabaya, 2014
- [5] Guardian™, "*Lightning protection system 5*", Lightning protection international Pty Ltd, 2003
- [6] Wikipedia, "Non Directional Beacon" <URL: [http://id.wikipedia.org/wiki/Non\\_Directional\\_Beacon](http://id.wikipedia.org/wiki/Non_Directional_Beacon) >
- [7] Bouqueqneau, Christian, "A Critical View on the Lightning Protection International Standard", Faculté Polytechnique de Mons, Belgium.
- [8] Annex 14, "*VOLUME I – Aerodrome Design and Operations*", International Civil Aviation Organization (ICAO), 2013
- [9] Tahukah dirimu.blogspot.com "proses terjadinya petir dan guntur" <URL:<http://tahukah-dirimu.blogspot.com/2011/08/proses-terjadinya-petir-dan-guntur.html>>
- [10] Badan Meteorologi dan Geofisika "Petir" <URL: [http://www.bmkg.go.id/RBMKG\\_Wilayah\\_10/Geofisika/petir.bmkg](http://www.bmkg.go.id/RBMKG_Wilayah_10/Geofisika/petir.bmkg)>
- [11] Wikipedia "Lightning" <URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Lightning>>
- [12] Nasa "Lightning Map" <[http://www.nasa.gov/centers/goddard/images/content/95495main\\_lightningmap\\_m.jpg](http://www.nasa.gov/centers/goddard/images/content/95495main_lightningmap_m.jpg)>



Penulis memiliki nama lengkap Chasib Atscolani. Anak kelima dari pasangan Musthofa dan Suba'iah ini lahir pada tanggal 17 Maret 1988 di kota Gresik. Suami dari Nikmatul Ikhrom ini menyelesaikan program studi Diploma 3 Teknik Kelistrikan Kapal pada tahun 2008 di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Pada tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Jurusan Teknik Elektro dan mengambil Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis dapat dihubungi di alamat email [chasib12@mhs.ee.its.ac.id](mailto:chasib12@mhs.ee.its.ac.id) atau [mr.casib@gmail.com](mailto:mr.casib@gmail.com)