

Perancangan Lightning Mast Protection (LMP) Area Berbahaya Menggunakan Metode Rolling Sphere pada Tangki Penyimpanan Petrokima di Cilegon

Agus Sofwan¹⁾, Asept Harri Nugroho²⁾

^{1,2)} Progam Studi Elektro Fakultas Teknik Institut Sains dan Teknologi Nasional Jakarta,
Jl. Moh. Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta Selatan, Indonesia, 12640
Email: [1asofwan@istn.ac.id](mailto:asofwan@istn.ac.id), [2aseptharrinugroho@gmail.com](mailto:aseptharrinugroho@gmail.com)

Abstrak

Sistem proteksi petir pada tangki-tangki berisikan petrokimia di wilayah pantai Cilegon termasuk dalam kategori area berbahaya, yang merupakan cairan petrokimia mudah terbakar. Wilayah pantai Cilegon ketinggian 13 mdpl, dengan kerapatan petir yang tinggi frekuensi sambaran 150 – 200 kali per hari. Salah satu tangki di area Plant 2 mengalami kebakaran akibat sambaran petir, berpotensi menimbulkan kerusakan konstruksi bangunan, kebakaran, intervensi peralatan elektronik, hingga kematian. Analisis dan evaluasi desain proteksi petir pada tangki tersebut dilakukan dengan metode proteksi petir menggunakan rolling sphere dengan simulasi software AutoCAD 2D. Desain Lightning Protection System LPS harus memenuhi SNI 03-7015-2004 tentang proteksi petir dan IEC 62305-2 manajemen risiko serta kerusakan fisik pada struktur dan bahaya bagi kehidupan. Radius proteksi ditentukan menggunakan metode rolling sphere. Area berbahaya, desain menggunakan LPS level II radius proteksi 30 meter dan arus puncak petir minimum 5 kA. Pada tangki tipikal 1 diameter < 28 meter, 3 unit air terminal setinggi 4,5 meter, radius proteksi 15,941 meter, sudut lindung sisi luar 40°, dan sisi atap 64°. Pada tangki tipikal 2, diameter > 28 meter, 4 titik air terminal tinggi 6 meter di sekeliling atap serta 1 unit air terminal tinggi 5 meter di tengah atap. *Down conductor* badan tangki, radius proteksi 13,794 meter menyerupai lingkaran, sudut lindung sisi luar tangki 28°, sisi atap 64°, dan sudut lindung air terminal di tengah tangki sebesar 48°. Tangki tipikal 2 tipe floating roof, maka *bypass conductor* harus dipasang. Desain produk komponen lightning protection air terminal dan asesoris koneksi brand Dehn sertifikasi type test IEC 62305, menghasilkan nilai yang cukup signifikan untuk sistem proteksi petir.

Kata Kunci: LPS, tangki petrokimia, area berbaya, rolling sphere, IEC 62305, radius proteksi.

Abstract

The lightning protection system on tanks containing petrochemicals in the coastal area of Cilegon is included in the category of hazardous areas, which are flammable petrochemical liquids. The coastal area of Cilegon is 13 meters above sea level, with a high density of lightning strikes of 150-200 times per day. One of the tanks in the Plant 2 area caught fire due to a lightning strike, potentially causing damage to building construction, fire, intervention of electronic equipment, and even death. Analysis and evaluation of the lightning protection design on the tank was carried out using the lightning protection method using a rolling sphere with AutoCAD 2D software simulation. The LPS Lightning Protection System design must meet SNI 03-7015-2004 on lightning protection and IEC 62305-2 risk management and physical damage to structures and dangers to life. The protection radius is determined using the rolling sphere method. Hazardous areas, design using LPS level II protection radius 30 meters and minimum peak lightning current 5 kA. In a typical tank 1 diameter < 28 meters, 3 terminal water units are 4.5 meters high, the protection radius is 15.941 meters, the outer side protection angle is 40°, and the roof side is 64°. In a typical tank 2, diameter > 28 meters, 4 points of 6-meter high water terminals around the roof and 1 unit of 5-meter high water terminal in the middle of the roof. Down conductor of the tank body, protection radius of 13.794 meters resembles a circle, the outer side protection angle of the tank is 28°, the roof side is 64°, and the water terminal protection angle in the middle of the tank is 48°. Typical tank 2 floating roof type, then bypass conductor must be installed. The product design of lightning protection components of air terminals and connection accessories of the Dehn brand, type test certification IEC 62305, produces significant value for the lightning protection system.

Keywords: LPS, petrochemical tanks, hazardous area, rolling sphere, IEC 62305, protection radius.

1. Pendahuluan

Penerapan proteksi petir menggunakan metode bola bergulir telah diterapkan oleh Ahmed & Mahmoud (2023) untuk kilang minyak, Al-Mutairi & Hassan (2020) di fasilitas minyak dan gas, Andrianto & Setiawan (2022) pada Terminal BBM, Berger & Kraus (2023) di lingkungan industri, dan Changmin & Sunwoo (2022) di pabrik kimia.

Beberapa fasilitas berbahaya juga telah diterapkan implementasi sistem proteksi petir dengan Metode Rolling Sphere, seperti yang dilakukan oleh Lvanov & Mikhailova (2020), Lopez & Alvarez (2020), Nakamura & Shimizu (2020), Rahman & Abdullah (2023), Wang & Zhao (2019), Nowak & Wozniak (2022), dan Yamamoto & Kato (2020).

Widodo & Prasetyo (2023), melakukan analisis perlindungan petir di pabrik pengolahan gas dengan penggunaan Metode Rolling Sphere. Yusuf (2021) telah melakukan analisis perlindungan petir di area berbahaya menggunakan Metode Rolling Sphere dengan studi kasus di kilang LNG. Fauzan dkk (2022) melakukan analisis untuk implementasi sistem proteksi petir pada fasilitas minyak dan gas lepas pantai menggunakan Metode Rolling Sphere. Hidayat & Nugroho (2021) melakukan evaluasi efektivitas proteksi petir di terminal BBM dengan metode Rolling Sphere.

Evaluasi sistem proteksi petir di area penyimpanan bahan kimia sangat efektif menggunakan Metode Rolling Sphere (Hidayat & Wijaya, 2021). Penerapan sistem proteksi petir tingkat lanjut di area berisiko tinggi menggunakan Metode Rolling Sphere sangat signifikan efektifitasnya (Jensen & Kristensen, 2022). Menurut Johnson & Hijau (2021), Metode Rolling Sphere sangat efektif dan efisien untuk proteksi petir di tangki penyimpanan mudah terbakar.

Nugroho & Sofwan (2024), telah melakukan perancangan Lightning Mast Protection (LMP) hazardous area menggunakan Metode Rolling Sphere sebagai pelindung pada tangki penyimpanan petrokimia yang efektif dan efisien.

Penerapan Metode Rolling Sphere untuk perlindungan petir pada terminal bahan bakar dan industri kimia juga sangat signifikan berhasil mengatasi *hazardous problem* (Purnomo, 2021), (Rahman, 2019), (Setiawan & Lestari, 2020), (Susanto dkk, 2021). (Tan & Ivanova, 2019). (Utomo & Purnomo, 2023).

Sambaran petir berdampak signifikan terutama di area dengan infrastruktur kritis dan bahan mudah terbakar, seperti Tangki Petrokimia Cilegon. Pada 1 Oktober 2022, tangki di Plant 2 terbakar akibat sambaran petir, menunjukkan risiko besar tanpa perlindungan yang memadai. Sistem proteksi petir penting untuk mengurangi risiko kebakaran, kerugian fisik, biaya perbaikan, gangguan operasional, dan risiko keselamatan bagi pekerja. Komponen utama sistem proteksi petir meliputi Penghantar Petir, Sistem Penangkis Turun, dan Sistem Penyebar. Penting juga Perlindungan Elektronik, Pemisahan dan Pengaman Arus, serta Pembumian yang Baik. Metode *Rolling Sphere* efektif untuk merancang sistem perlindungan petir yang efisien dan akurat. Penerapan metode ini di Tangki Petrokimia Cilegon diharapkan dapat meningkatkan keamanan dan efisiensi operasional. Penelitian tesis dilakukan untuk merancang sistem *Lightning Mast Protection* (LMP) dengan metode *Rolling Sphere* yang sesuai standar untuk perlindungan bangunan terminal tersebut.

2. Metodologi

Petir adalah pelepasan muatan listrik secara tiba-tiba akibat perbedaan potensial besar antara awan dan permukaan bumi. Potensi hantar arus petir hingga 100 kA dapat membahayakan benda di sekitarnya.

Sambaran petir diklasifikasikan berdasarkan amplitudo arus, durasi sambaran, dan polarisasi muatan yang dilepaskan. Ini dapat mencapai ratusan ribu ampere dalam waktu singkat

Dampak sambaran petir terhadap suatu objek terbagi menjadi cahaya dan suara. Kilat memancarkan cahaya terang, sementara guntur adalah suara ledakan. Bahaya petir meliputi kebakaran, kerusakan properti, cedera pada manusia atau hewan, dan kematian. Petir dapat merusak sistem kelistrikan, peralatan elektronik, menyebabkan kerusakan fisik, peralatan elektronik, serta gangguan operasional yang berujung pada pemadaman listrik dan bahkan kematian.

2.1 Metode Perlindungan Petir

Ada beberapa metode untuk melindungi struktur dan sistem dari sambaran petir, di antaranya:

- a. *Lightning Rods* (Penangkal Petir): suatu Perangkat yang dipasang pada posisi tertinggi dari bangunan untuk menarik dan menyalurkan sambaran petir yang menyambar objek ke tanah.
- b. *Faraday Cage*: Struktur logam yang digunakan untuk melindungi peralatan sensitif dari efek elektromagnetik petir, baik terhadap sambaran langsung ataupun sambaran tidak langsung.
- c. *Metode Rolling Sphere*: Metode ini digunakan untuk menentukan area yang perlu dilindungi dengan mempertimbangkan radius penggulungan bola yang mewakili jarak aman dari sambaran petir.

Metode Rolling Sphere

Metode Rolling Sphere digunakan untuk menentukan area yang perlu dilindungi dari sambaran petir dengan bola bergulir. Metode *Rolling Sphere* menggunakan bola imajiner dengan radius disesuaikan untuk tingkat perlindungan, biasanya 20-60 meter. Langkah-langkahnya termasuk penentuan radius, pemodelan struktur, gulirkan bola, identifikasi titik kritis, dan penempatan penangkal petir. Penangkal petir ditempatkan strategis berdasarkan titik-titik kritis yang diidentifikasi untuk perlindungan maksimal.

Metode *Rolling Sphere* digunakan untuk menentukan lokasi pemasangan LMP di

Tangki Petrokimia Cilegon. Menjamin perlindungan dari sambaran petir.

Lightning Mast Protection

Lightning Mast Protection (LMP) adalah sistem perlindungan petir yang menggunakan tiang penangkal petir untuk melindungi area tertentu dari sambaran petir. LMP terdiri dari beberapa tiang yang ditempatkan strategis di sekitar area yang dilindungi. Sistem ini menyediakan jalur konduktif untuk arus petir sehingga arus tidak merusak struktur bangunan atau peralatan penting lainnya. LMP sering digunakan untuk melindungi bangunan, instalasi industri, dan fasilitas lainnya dari bahaya petir. Pemilihan dan instalasi penangkal petir harus memperhatikan standar keselamatan dan desain.

Studi Kasus Perlindungan Petir

Studi kasus dilakukan untuk menguji sistem perlindungan petir di berbagai infrastruktur. Kasus internasional menunjukkan keberhasilan metode Rolling Sphere dan sistem LMP di sektor industri. Di Indonesia, sistem proteksi model LMP juga berhasil diterapkan, dengan studi kasus menunjukkan tingkat keberhasilan dalam melindungi fasilitas kritis. Bukti konkret tentang peningkatan keselamatan dan keandalan operasional juga didapatkan.

2.2 Metode Desain

Sistem proteksi petir tangki

Sistem proteksi petir terdiri dari penangkap petir, penghantar, pembumian, dengan konektivitas 0.02 Ohm sesuai standar NFPA 780 dan IEC 62305.

Beberapa teknik sistem proteksi petir yang dikenali dalam standar adalah sistem proteksi petir *self-protected*, sistem proteksi petir *non-isolated* dengan air terminal, dan sistem proteksi petir *isolated*. Metode *self-protected* berpotensi menyebabkan kerusakan karena beberapa faktor seperti sambaran langsung di dinding tangki, ketebalan dinding yang tidak merata, dan kontinuitas logam yang kurang sempurna. Metode *non-isolated* menambahkan *air terminal* untuk menjauhkan sambaran petir dari zona

eksplusif. Sedangkan metode *isolated* menggunakan tiang proteksi terpisah dari badan tangki, baik berupa tiang penangkal petir atau tiang dengan kabel *overhead*.

Pemilihan Sistem Proteksi Petir

Evaluasi pemilihan LPS dilakukan pada aspek Etika, Legal, Economical, dan risiko kerusakan. Perbandingan design LPS dengan sistem Self Protected, Non Isolated, dan Isolated.

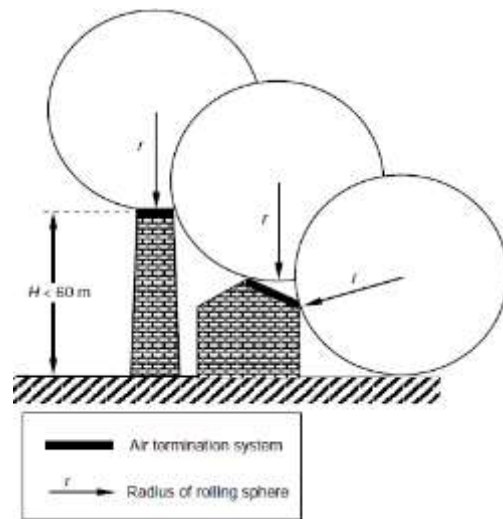
Desain LPS ditetapkan menggunakan Sistem Non Isolated karena keunggulannya dengan spesifikasi design yang masih sesuai standard IEC 60305, biaya dan waktu instalasi yang lebih efisien dibandingkan dengan system isolated. LPS akan bekerja optimal jika design dan implementasinya mengacu pada 6 pilar utama.



Gambar 1 Pilar Sistem Proteksi Petir (IEC 62305)

Karakteristik Percikan Api di Tangki Menurut API 545-A

API 545 membagi arus petir menjadi tiga kategori: fast current (0.5ms), intermediate current (5ms), dan slow current (250-1000ms). Laporan API 545-A menyatakan bahwa shunt efektif saat terjadi fast current dan intermediate current. Untuk mencegah nyala api pada gas, pemasangan bypass conductor dengan induktansi kecil sangat diperlukan. IEC 62305 menyarankan LPS Level II di untuk Hazardous Area dengan radius proteksi 30 meter.



Gambar 2 Radius Bola Bergulir
(Sumber: IEC 62305:2010)

Sistem Penangkap Petir (Air Termination System)

Sistem Penutup Udara dapat berupa batang logam, konduktor logam, atau struktur logam sesuai standar IEC 62305 dengan radius 30 meter.

Sistem Penghantar Turun

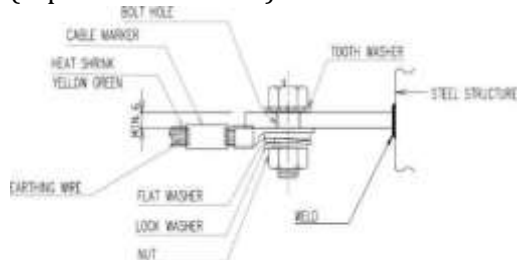
Down Conductor System (Sistem penghantar turun) menggunakan batang logam, konduktor logam, atau struktur logam dari fasilitas. Ketebalan logam harus sesuai standar untuk natural air terminal. Tank dan vessel harus memiliki ketebalan minimal 5 mm untuk baja dan 7 mm untuk aluminium. Penghantar turun dengan konduktor logam minimal 2, dengan jarak sesuai Tabel. Ukuran penghantar turun mengacu pada IEC 62305:2023.

Sistem Pembumian

Sistem pembumian (*Earth Termination System*) sangat penting dalam penangkal petir. Nilai resistansi maksimal adalah 10 ohm untuk setiap elektroda pembumian. Earth rod yang dipararel bisa mencapai nilai dibawah 1 ohm. Desain earth rod harus mengikuti standar IEC 62305. Cara terminasi kabel juga berpengaruh, hindari koneksi lepas akibat vibrasi atau korosi. Gunakan baut dengan ring pengunci dan material tahan korosi.

Jarak Aman / Separation Distance

Pada kabel penghantar turun yang dialiri arus petir, daerah pada sekeliling kabel penghantar akan mengalami induksi elektromagnetik yang menginduksi pada peralatan listrik. Dalam jarak yang sangat dekat dapat mengakibatkan lompatan arus (flash over). Untuk mencegah hal ini, penghantar turun harus diberi jarak (separation distance).



Gambar 3 Teknik Terminasi Kabel Earthing

Jarak minimal agar tidak terjadi lompatan arus adalah:

$$S = \frac{k_i}{k_m} \times k_c \times l \quad (1)$$

Keterangan :

- k_i : konstanta LPS (Tabel 10 IEC 62305-3)
- k_m : konstanta isolasi material (Tabel 11)
- k_c : konstanta bergantung jumlah penghantar turun (Tabel 12 IEC 62305-3)
- l : tinggi atau panjang tarikan penghantar turun

Sistem Equipotensial Bonding

Tujuan equipotential bonding adalah menyamakan tegangan referensi nol antara struktur logam dan badan peralatan untuk menghindari arus petir acak. Standar ukuran kabel bonding dapat ditemukan dalam tabel tersedia. Pentingnya koneksi logam, pengukuran, dan material yang dipilih juga harus diperhatikan.

2.1 Metode Perhitungan

Metoda perhitungan meliputi 2 hal utama, perhitungan air terminal pada atap tangki dan perhitungan jumlah elektroda tanah.

Perhitungan Air Terminal pada Tangki

Desain Air terminal harus mencegah penetrasi sejauh 3 meter ke permukaan tangki. Air Terminal juga didesain mempertimbangkan radius proteksi

(rolling sphere) sebesar 30 meter. Jarak penetrasi (p) rolling sphere antara conductor dapat dihitung dengan formula dibawah:

$$S = \frac{k_i}{k_m} \times k_c \times l \quad (2)$$

Keterangan :

- k_i : konstanta LPS (Tabel 10 IEC 62305-3)
- k_m : konstanta isolasi material (Tabel 11 IEC 62305-3)
- k_c : konstanta bergantung jumlah penghantar turun (Tabel 12 IEC 62305-3)
- l : tinggi atau panjang tarikan penghantar turun

Perhitungan Jumlah Elektroda Tanah

Jarak optimal down conductor untuk LPS Level II adalah 10m/keliling sesuai IEC. Standar NFPA membutuhkan down conductor setiap 30m/keliling. Level design down conductor LPS Level III adalah maksimal 15m. Electrode minimum 5m sesuai IEC.

Nilai resistansi setelah dipararel akan menjadi:

$$R' = \frac{R \times F}{N} \quad (3)$$

Keterangan:

- R : resistansi elektroda tanah individual dalam satuan ohm
- R' : resistansi elektroda tanah setelah diparalel dalam satuan ohm
- F : faktor pararel sesuai Tabel 1
- N : banyaknya elektroda yang diparalel

Tabel 1 Faktor Pengali untuk Elektroda Paralel

Jumlah Elektroda di Paralel (N)	Faktor Paralel (F)
2	1,16
3	1,29
4	1,36
8	1,68
12	1,80
16	1,92
20	2,00
24	2,16

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Tangki Tipikal 1 ($d < 28$ meter)

Perhitungan air terminal pada atap tangki terminal, dimana detail ukuran tangki dan desain parameter sistem proteksi penangkal petir yakni sebagai berikut:

- Diameter tangki : 15,558 meter
- Tinggi tangki : 13,701 meter
- Keliling tangki : 48,852 meter
- Radius rolling sphere : 30 meter

Menggunakan air terminal dengan tinggi atau referensi dasar atap (h_t): 4,5 meter

- Jarak maksimal antar air terminal jika penetrasi rolling sphere diizinkan sebesar 2 meter:

$$d_{max} = 2 \sqrt{2R_h - h^2}$$

$$d_{max} = 2 \sqrt{2 \times 30 \times 4,5 - (4,5)^2} \\ = 31,61 \text{ meter}$$

- Jumlah air terminal yang dibutuhkan:
 $\frac{\text{keliling tangki}}{d_{max}} = \frac{48,852 \text{ meter}}{31,61 \text{ meter}} \\ = 1,54 \approx 2 \text{ pcs}$
- Jumlah air terminal yang digunakan:
 - Pada desain yang dituangkan pada drawing menggunakan 3 pcs air terminal

Gambar 3 Instalasi LMP untuk Tangki Tipikal 1 ($d < 28$ m) Tampak Atas

- Memenuhi kebutuhan minimal air terminal karena menggunakan 3 pcs air terminal.

- Desain Jarak Air Terminal (d):
 $d = \frac{48,852 \text{ meter}}{3 \text{ (air terminal)}} \\ = 16,254 \text{ meter}$

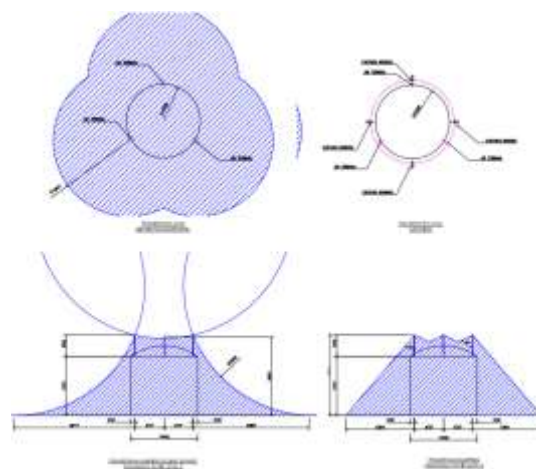
- Jarak penetrasi penetrasi rolling sphere

$$p = 30 - \left(\sqrt{30^2 - \left(\frac{16.284}{2} \right)^2} \right) = 1.126 \text{ meter}$$

- Jarak penetrasi masih dibawah nilai maksimal yang diinginkan (2 meter).
- Tinggi air terminal lebih tinggi dari jarak penetrasi sambaran petir.
- Memenuhi tinggi minimal air terminal dan jarak maksimal penetrasi yang dizinkan.
- Luas Area yang perlu dilindungi: 190 sqm²
- Radius perlindungan air terminal dengan tinggi 4,5 meter dari

permukaan terlindung adalah 9,90 meter sesuai dengan Tabel 3.10 hal 56 (IEC 62305-3). Permukaan dengan tinggi 4,5 meter yang dilindungi tercover hanya sekitar 50%. Luas area perlindungan per tiang air terminal: 153,9 sqm²

- Presentase luas area terproteksi oleh 3 tiang air terminal adalah 3 x 153,9 sqm. Sedangkan luas dari permukaan tangki yang harus di proteksi adalah 190sqm. Area proteksi adalah 242,96% dari permukaan yang tangki.
- Area perlindungan memenuhi kebutuhan area proteksi.



Gambar 3 menjelas simulasi menggunakan AutoCad 2D dengan radius petir level II ($d = 30$ m) tampak depan. Simulasi sambaran petir berasal dari sisi kiri, kanan dan sisi atas. Jumlah air terminal ada 3 unit. Jika dilihat dari samping wilayah yang terproteksi berbentuk aksiran berbentuk kubah (kubah lindung), Adapun jika dilihat dari atas maka radius proteksi menyerupai lingkaran dengan radius proteksi $R = 15,941$ meter, dengan sudut lindung (*angle of protection*) sisi luar 40° dan sisi atap 64° .

3.2 Tangki Tipikal 2 ($d > 28$ meter)

Perhitungan air terminal pada atap tangki terminal, dengan detail ukuran tangki dan desain parameter sistem proteksi penangkal petir yakni sebagai berikut:

- Diameter tangki : 28,032 meter
- Tinggi tangki : 20,235 meter
- Keliling tangki : 88,02 meter

Radius rolling sphere : 30 meter
Tinggi air terminal di atas referensi dasar atap (h_t): 6 meter.

- Jarak maksimal air terminal jika penetrasi rolling sphere diijinkan sebesar 23 meter:

$$d_{max} = 2 \sqrt{2R_h - h^2}$$

$$d_{max} = 2 \sqrt{2 \times 30 \times 6 - (6)^2} = 36m$$

- Jumlah air terminal yang dibutuhkan:

$$\frac{\text{keliling tangki}}{d_{max}} = \frac{88.02 \text{ meter}}{31.61 \text{ meter}} = 2.45 \approx 3 \text{ pcs}$$

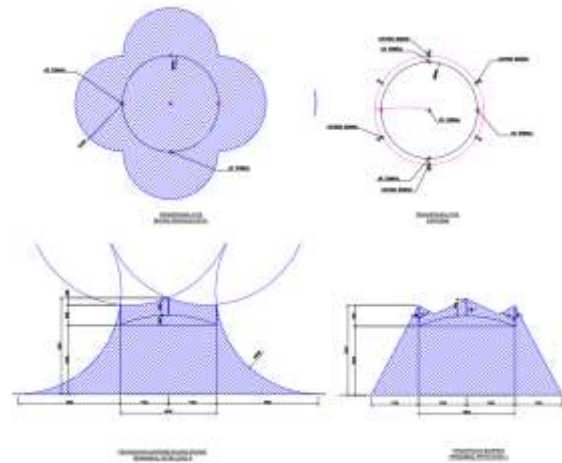
- Jumlah air terminal yang digunakan:
 - Pada desain yang dituangkan pada drawing menggunakan 4 pcs air terminal
 - Memenuhi kebutuhan minimal air terminal karena menggunakan 4 pcs air terminal.
- Desain jarak antar air terminal:

$$d = \frac{88,02}{4 (\text{air terminal})} = 22,005 \text{ meter}$$

- Jarak penetrasi rolling sphere :

$$p = 30 - \left(\sqrt{30^2 - \left(\frac{22.005}{2} \right)^2} \right) = 2.1 \text{ meter}$$

- Jarak penetrasi masih dibawah nilai maksimal yang diinginkan (2 meter).
- Tinggi air terminal lebih rendah dari jarak penetrasi sambaran petir.
 - Memenuhi tinggi minimal air terminal dan jarak maksimal penetrasi yang diizinkan.
 - Satu tambahan air terminal dengan tinggi 5m di tengah tangki karena atap tangki bagian tengah lebih tinggi.
- Luas Area yang perlu dilindungi: 618,85 sqm.
- Radius perlindungan air terminal dengan tinggi 6 meter dari permukaan terlindung adalah 11,28 meter sesuai dengan Tabel 10. Permukaan dengan tinggi 6 meter yang dilindungi tercover hanya sekitar 50%. Luas area perlindungan per tiang air terminal : 199,764 sqm².



Gambar 4 Instalasi LMP untuk Tangki Tipikal 2 (> 28m) Tampak Atas

Gambar 4 menjelaskan simulasi menggunakan AutoCad 2D dengan radius petir level II ($d = 30 \text{ m}$) tampak depan. Simulasi sambaran petir berasal dari sisi kiri, kanan dan sisi atas. Jumlah air terminal ada 5 unit (4+1). Jika dilihat dari samping wilayah yang terproteksi berbentuk aksiran berbentuk kubah (kubah lindung). Adapun jika dilihat dari atas maka radius proteksi menyerupai lingkaran dengan radius proteksi $R = 13,794 \text{ m}$ dengan angle of protection sisi luar 28° , sisi dalam (atap tangka) 61° , dan air terminal di tengah tangki sebesar 48° .

3.4 Perhitungan Penghantar Turun dan Jumlah Elektroda Tanah

- Keliling tangki : 88,02 meter
- Penghantar turun didesain menggunakan body tangki sehingga tidak perlu dihitung jumlahnya.
- Karena tangki merupakan tipe floating roof, maka bypass conductor harus dipasang.
- Kebutuhan titik elektroda tanah :

$$\frac{\text{keliling tangki}}{d_{max}} = \frac{88,02}{15} = 5,87 \text{ pcs} \approx 6 \text{ pcs}$$
- Saat instalasi diharapkan elektroda tanah secara individual maksimal bernilai 5 ohm sehingga nilai impedansi grid menjadi :

$$R' = \frac{R \times F}{N} = \frac{1 \times 6}{1,68} = 3,57 \text{ Ohm} \approx 3 \text{ Ohm}$$

➤ Kebutuhan *bypass conductor*

$$\frac{K}{d_{max}} = \frac{88,02}{20 \text{ meter}} = 4 \text{ pcs}$$

3.4. Hasil Desain Lightning Mast Protection (LMP)

Instalasi LMP untuk Tangki Tipikal 2 (> 28 meter) Tampak Samping Berdasarkan hasil desain dengan detail terlampir pada section 9 di atas, yakni :

- Kalkulasi perhitungan pada tangki tipikal-1: diameter < 28m
- Kalkulasi perhitungan pada tangki tipikal-2: diameter > 28m

Maka hasil dari perhitungan tersebut ditabulasikan sesuai Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Tabel Kalkulasi

No	Tipikal Diameter Tangki	Air Terminal tanpa Overhead Wire	Bypass Conductor (RGA/RBC)	Earthing Body dan Elektroda Tanah
1	±15 meter	3	-	4
2	±28 meter	34+ 1*	4	6

3.5 Pemilihan Produk Komponen Lightning Protection pada Hazardous Area

Setelah tahap desain selesai, maka tahap berikutnya adalah pemilihan product komponen lightning protection. Pemilihan produk penangkal petir yang memiliki sertifikasi *explosion-proof* sangat penting dalam mendesain proteksi petir untuk area berbahaya (*hazardous area*). *Hazardous area*, seperti terminal penyimpanan bahan bakar dan fasilitas industri kimia, adalah lingkungan di mana terdapat risiko tinggi ledakan atau kebakaran akibat kehadiran bahan mudah terbakar seperti gas, uap, dan debu. Dalam konteks ini, penggunaan produk penangkal petir yang tersertifikasi *explosion-proof* adalah esensial untuk memastikan keselamatan operasional dan perlindungan terhadap infrastruktur dan personel.

Produk dengan sertifikasi *explosion-proof* telah melalui pengujian yang ketat untuk memastikan bahwa mereka mampu beroperasi dengan aman dalam kondisi lingkungan yang berisiko tinggi. Sertifikasi

ini menjamin bahwa perangkat tersebut dirancang untuk mencegah percikan api atau panas berlebih yang bisa memicu ledakan atau kebakaran. Dengan menggunakan produk yang telah disertifikasi, risiko terjadinya insiden akibat sambaran petir dapat diminimalkan secara signifikan. Hal ini sangat penting dalam lingkungan industri di mana keselamatan personel dan perlindungan aset adalah prioritas utama.

Selain itu, produk yang tersertifikasi *explosion-proof* memberikan jaminan keandalan dan durabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan produk yang tidak tersertifikasi. Produk-produk ini dirancang untuk bertahan dalam kondisi ekstrem dan memiliki masa pakai yang lebih lama, mengurangi kebutuhan akan penggantian dan perawatan yang sering. Keandalan ini sangat penting untuk menjaga kontinuitas operasional dan mengurangi downtime yang bisa mengakibatkan kerugian finansial yang besar. Dalam industri yang beroperasi di lingkungan berisiko tinggi, ketahanan dan kinerja produk proteksi petir yang konsisten adalah krusial untuk menjaga efisiensi dan keamanan operasi.

Terakhir, memilih produk penangkal petir yang memiliki sertifikasi *explosion-proof* memastikan kepatuhan terhadap standar keselamatan internasional dan regulasi lokal. Banyak standar keselamatan, seperti IEC 62305 dan NFPA 780, mengharuskan penggunaan perangkat yang telah teruji dan tersertifikasi untuk digunakan di area berbahaya. Kepatuhan terhadap standar ini tidak hanya penting untuk menghindari sanksi hukum dan denda, tetapi juga memainkan peran penting dalam memperoleh dan mempertahankan asuransi untuk fasilitas industri. Produk yang tersertifikasi memastikan bahwa desain sistem proteksi petir memenuhi semua persyaratan keselamatan yang relevan, memberikan perlindungan maksimal terhadap risiko yang terkait dengan sambaran petir di *hazardous area*.

Dalam perancangan sistem proteksi petir untuk Tangki Petrokimia Cilegon,

dipilihlah komponen proteksi petir dari brand Dehn yang telah lolos sertifikasi produk explosion-proof. Pemilihan ini didasarkan pada berbagai pertimbangan teknis dan standar keselamatan yang ketat. Dehn, sebuah perusahaan Jerman yang telah lama dikenal sebagai pemimpin dalam teknologi proteksi petir, menawarkan produk yang tidak hanya berkinerja tinggi tetapi juga sesuai dengan standar internasional seperti IEC 62305 dan NFPA 780-2020. Keandalan produk Dehn dalam kondisi ekstrem membuatnya ideal untuk digunakan di lingkungan industri yang berisiko tinggi seperti Tangki Petrokimia Cilegon.

Produk Dehn yang digunakan dalam sistem proteksi petir ini telah melalui proses sertifikasi yang ketat untuk memastikan bahwa mereka aman digunakan di area berbahaya yang rentan terhadap ledakan. Sertifikasi explosion-proof menunjukkan bahwa produk ini telah diuji untuk tahan terhadap kondisi ekstrem, termasuk kehadiran gas, debu, dan uap yang mudah terbakar. Keberadaan sertifikasi ini memberikan jaminan tambahan bahwa sistem proteksi petir tidak hanya akan melindungi dari sambaran petir tetapi juga akan mencegah risiko tambahan yang dapat timbul akibat kegagalan sistem proteksi di lingkungan yang berbahaya. Pemilihan produk Dehn juga mempertimbangkan kemudahan integrasi dan pemeliharaan.

Produk Dehn dirancang untuk kompatibilitas tinggi dengan berbagai sistem proteksi petir yang ada, serta menawarkan solusi modular yang memudahkan instalasi dan perawatan. Dengan menggunakan komponen yang telah teruji dan tersertifikasi, tim desain dapat memastikan bahwa sistem proteksi petir yang dipasang akan memberikan perlindungan maksimal dengan minimal downtime untuk perawatan dan inspeksi rutin. Penggunaan komponen Dehn pada akhirnya tidak hanya meningkatkan keselamatan tetapi juga mengoptimalkan efisiensi operasional di Tangki Petrokimia Cilegon.

4. Kesimpulan

Kondisi *existing system* proteksi petir menggunakan *Self Protected Lightning Protection* hanya menggunakan bodi tangki sebagai *down conductor* ke sistem pentanahan. Kondisi pentanahan pada masing-masing grounding tangki terpisah.

Level sistem proteksi petir yang sesuai standar untuk area *explosion proof* daerah berbahaya adalah minimal LPS level II dengan radius rolling sphere $d = 30$ meter.

Perbaikan sistem proteksi petir dengan menambahkan ait terminal pada masing-masing tangki (*Non-Isolated Lightning Protection System*) dengan menggunakan *rolling sphere method*. Perbaikan selanjutnya dilakukan dengan mengintegrasikan semua titik grounding pada seluruh tangki penyimpanan, sehingga terdapat keseragaman total nilai tahanan pentanahan pada sistem.

Pemilihan produk komponen lightning protection air terminal dan asesoris koneksi menggunakan brand Dehn karena telah memiliki sertifikasi type test IEC 62305. Desain ini menghasilkan nilai proteksi yang cukup signifikan untuk sistem proteksi petir.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S., & Mahmoud, K. (2023). Lightning Protection Strategies for Oil Refineries Using Rolling Sphere Method. *Energy Procedia*
- Al-Mutairi, N., & Hassan, A. (2020). Assessment of Lightning Risk in Oil and Gas Facilities Using Rolling Sphere Method. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*
- Andrianto, E., & Setiawan, Y. (2022). Implementasi Metode Rolling Sphere untuk Proteksi Petir di Terminal BBM. *Jurnal Teknologi Energi*
- Berger, T., & Kraus, S. (2023). Innovative Approaches to Lightning Protection in Industrial Settings Using Rolling Sphere Method. *Journal of Hazardous Materials*
- Changmin, L., & Sunwoo, K. (2022). Safety Considerations for Lightning

- Protection in Chemical Plants Using Rolling Sphere Method. Chemical Engineering Research and Design
- Fauzan, M., et al. (2022).** Implementasi Sistem Proteksi Petir pada Fasilitas Offshore Minyak dan Gas Menggunakan Metode Rolling Sphere. Jurnal Rekayasa Keamanan
- Hidayat, F., & Nugroho, W. (2021).** Evaluasi Efektivitas Proteksi Petir di Terminal BBM dengan Metode Rolling Sphere. Jurnal Teknologi Industri
- Hidayat, R., & Wijaya, A. (2021).** Evaluasi Sistem Proteksi Petir di Area Penyimpanan Bahan Kimia Menggunakan Metode Rolling Sphere. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan
- Ivanov, V., & Mikhailova, E. (2020).** Experimental Analysis of Lightning Protection for Hazardous Facilities Using Rolling Sphere Method. Journal of Electrostatics
- Jensen, J., & Kristensen, M. (2022).** Implementing Advanced Lightning Protection Systems in High-Risk Areas Using Rolling Sphere Method. Renewable Energy
- Johnson, D., & Green, L.(2021).** Rolling Sphere Method for Lightning Protection in Flammable Storage Tanks. Fire Safety Journal
- Lopez, M., & Alvarez, P. (2020).** Review of International Standards for Lightning Protection in Hazardous Areas Using Rolling Sphere Method. Journal of Loss Prevention in the Process Industries
- Nakamura, H., & Shimizu, Y. (2020).** Explosion-Proof Lightning Protection for Hazardous Areas Utilizing Rolling Sphere Method. IEEE Transactions on Power Delivery
- Noor, F., & Aslam, M. (2021).** Simulation of Lightning Strikes in Industrial Zones Using Rolling Sphere Method. IEEE Access
- Nowak, E., & Wozniak, P. (2022).** Lightning Protection Design for Explosive Zones Using Rolling Sphere Method. Energy Reports
- Nugroho, AH., & Sofwan, A. (2024).** Perancangan Lightning Mast Protection (LMP) Hazardous Area Menggunakan Rolling Sphere Method Sebagai Pelindung Pada Tangki Penyimpanan Petrokimia di Cilegon. Thesis dan Jurnal Publikasi
- Protection Againts Lightning. (2023).** IEC 62305-2023
- Purnomo, T. (2021).** Studi Kasus Penerapan Metode Rolling Sphere untuk Perlindungan Petir pada Terminal Bahan Bakar. Jurnal Energi dan Kelistrikan Indonesia
- Rahman, A., & Abdullah, N. (2023).** Strategies for Effective Lightning Protection in Hazardous Locations Using Rolling Sphere Method. Fire Safety Journal
- Setiawan, R., & Lestari, N. (2020).** Perlindungan Petir pada Fasilitas LNG di Indonesia Menggunakan Metode Rolling Sphere. Jurnal Kelistrikan
- Susanto, T., et al. (2021).** Implementasi Metode Rolling Sphere untuk Proteksi Petir di Platform Minyak Lepas Pantai. Journal of Hazardous Materials
- Tan, J., & Ivanova, O. (2019).** Advanced Rolling Sphere Method for Lightning Protection Systems in Industrial Applications. International Journal of Electrical Power & Energy System
- Utomo, D., & Purnomo, T. (2023).** Studi Kasus Perlindungan Petir di Kilang LNG dengan Metode Rolling Sphere. Jurnal Teknologi Gas Alam
- Wang, C., & Zhao, Z. (2019).** Optimization of Lightning Protection in Hazardous Areas Using Rolling Sphere Method. Journal of Electrical Engineering
- Widodo, S., & Prasetyo, B. (2023).** Penggunaan Metode Rolling Sphere untuk Perlindungan Petir di Pabrik Pengolahan Gas. Jurnal Rekayasa Keamanan
- Yamamoto, K., & Kato, N. (2020).** Protective Measures for Lightning in Hazardous Industrial Zones Using Rolling Sphere Method. IEEE Transactions on Industry Applications
- Yusuf, A. (2021).** Perlindungan Petir di Area Berbahaya Menggunakan Metode Rolling Sphere: Studi di Kilang LNG. Jurnal Teknik Elektro