

STUDI PERENCANAAN SISTEM PROTEKSI PETIR PADA AREA BERBAHAYA

Mohammad Amir dan Muhammad Fajar Rahmannudin

Program Studi Teknik ElektroFakultas TeknologiIndustri
Institut Sains dan Teknologi Nasional
Jl. Moh. Kahfi II Bumi Srengseng Indah, Jagakarsa 12640, Jakarta

ABSTRAK

Main Gathering Station (MGS) Balongan Pertamina EP Asset 3 OGT merupakan suatu industri yang bergerak di sektor migas dengan selalu memperhatikan aspek QHSE (*Quality, Health, Safety, and Environment*). Industri ini termasuk objek vital nasional dengan kategori sebagai area berbahaya zona 1 dan zona 2. Terdapat sumber bahaya yang berpotensi menimbulkan kerusakan terhadap peralatan dan manusia. Instalasi listrik yang akan digunakan adalah sistem proteksi petir dengan mengacu kepada standar NFPA 780-2017 tentang *Standard for the Installation of Lightning Protection Systems*. Metode bola bergulir (*rolling sphere*) digunakan untuk menghitung kebutuhan sistem proteksi petir. Untuk menghitung kebutuhan elektrode pbumian digunakan sistem pentanahan elektrode batang. *Control Room* MGS Balongan (*Hazardous Building*) memiliki nilai frekuensi sambaran petir langsung (N_d) sebesar 0,03 sambaran petir per tahun dengan luas area ekivalen sambaran petir bangunan (A_e) 1082,95 m². Nilai (N_g) intensitas sambaran petir ke tanah 27,6 sambaran petir per km² per tahun, tingkat proteksi level II dengan radius 30 meter dan nilai tahanan pbumian 0,344 Ω .

Kata kunci: Instalasi Listrik, NFPA 780-2017, Sistem Proteksi Petir, Elektrode Pbumian

I. PENDAHULUAN

Main Gathering Station (MGS) Balongan Oil and Gas Transportation (OGT) Asset 3 Pertamina EP merupakan suatu industri yang bergerak di sektor migas, saat ini sedang membenahi wilayah operasi produksinya dengan selalu memperhatikan aspek QHSE (*Quality, Health, Safety, and Environment*). Industri migas ini mempunyai *plant* atau lapangan migas yang memproduksi minyak mentah dan gas methan. Lapangan migas ini termasuk objek vital nasional dengan kategori sebagai area berbahaya zona 1 dan zona 2. Dalam proses pembenahan lapangan migas ini, terdapat banyak sumber yang berpotensi menimbulkan bahaya, sehingga perlu dilakukan suatu upaya pengendalian terhadap sumber bahaya tersebut, salah satunya adalah pengendalian terhadap peralatan listrik. Apabila tidak dilakukan pengendalian yang tepat terhadap peralatan listrik dapat menimbulkan resiko bahaya.

Peralatan-peralatan atau instalasi listrik yang dimaksud adalah instalasi proteksi petir. Peralatan atau instalasi listrik yang digunakan

harus dapat memenuhi standar yang berlaku untuk mencegah pembakaran terhadap gas atau uap yang mudah terbakar karena sambaran petir pada area berbahaya.

II. TEORI PENDUKUNG

Instalasi yang aman harus tidak mampu melepaskan energi listrik atau panas (dalam keadaan normal maupun abnormal) yang dapat menyalakan campuran udara berbahaya dengan konsentrasi yang paling mudah menyala. Yang dimaksud abnormal, adalah kerusakan instalasi yang tak terduga karena kegagalan komponen listrik, adanya tegangan lebih, kesalahan penyetalan dan pemeliharaan, dan keadaan serupa yang lain.

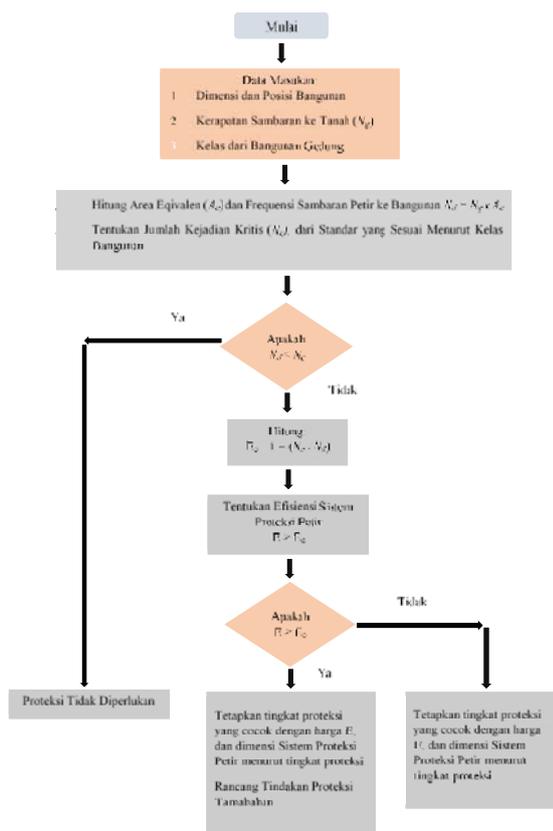
Peralatan instalasi listrik harus dipilih dan dipasang sehingga terlindungi dari pengaruh eksternal (misalnya pengaruh kimia, mekanik, getaran, panas dan kelembaban) yang dapat mempengaruhi perlindungan terhadap ledakan.

2.1 Perencanaan Sistem Instalasi Proteksi Petir

Pemasangan sistem proteksi petir adalah sistem terminal udara yang lengkap dengan konduktor bawah, terminal tanah, konduktor interkoneksi dan alat kelengkapan lainnya yang dibutuhkan untuk melengkapi sistem penangkal petir eksternal. Proteksi eksternal adalah instalasi dan alat-alat di luar suatu struktur bangunan untuk menangkap dan menghantarkan arus petir ke sistem pembumian. Fungsi dari suatu sistem proteksi petir adalah menangkap sambaran petir serta menyalurkan arus petir ke dalam tanah dengan aman. Jadi sistem proteksi petir eksternal yang sering digunakan terdiri dari tiga bagian yaitu *air-terminal*, *down conductor*, dan *grounding system*.

2.2 Metode Perhitungan Sistem Terminasi Udara

Langkah-Langkah dalam perancangan sistem proteksi petir diperlihatkan pada diagram alir dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Prosedur Pemilihan Sistem Instalasi Proteksi Petir Sumber: SNI 03-7015-2004

- a. Menghitung Intensitas Sambaran Petir ke Tanah (N_g)
- $$N_g = 0.04 T_d^{1.25} \quad (1)$$

- b. Menghitung Area Cakupan Ekuivalen dari Bangunan Area Berbahaya

$$A_e = ab + 6h(a+b) + 9\pi h^2 \quad (2)$$

- c. Menghitung Frekuensi Sambaran Petir Langsung

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} \quad (3)$$

- d. Menentukan Jumlah Kejadian Kritis (N_c) Menurut Standar NFPA 780-2017

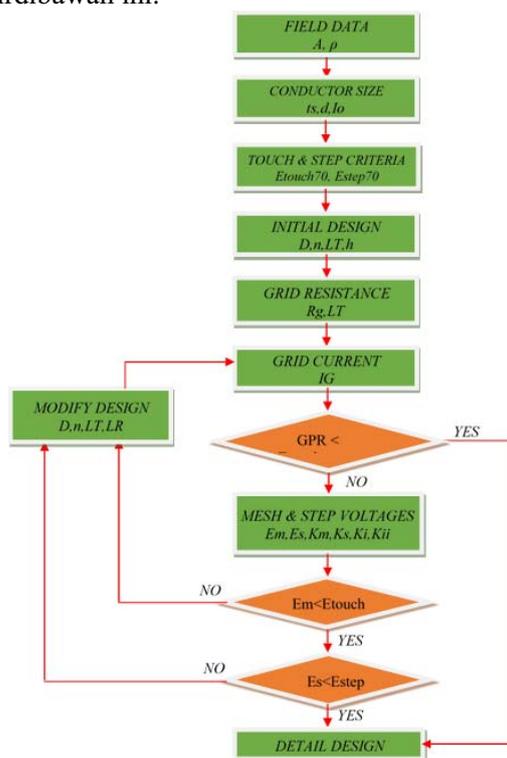
$$(N_c) = \frac{1.5 \times 10^{-3}}{C} \quad (4)$$

- e. Menentukan Tingkat Proteksi

$$E_c = 1 - \frac{N_c}{N_d} \quad (5)$$

2.3 Metode Perhitungan Sistem Pembumian

Langkah-Langkah dalam perancangan sistem pembumian diperlihatkan pada diagram alir dibawah ini.



Gambar 2. Diagram Alir Tahapan Perancangan Sistem Pembumian Sumber: IEEE-80 tahun 2000

a. Ukuran Konduktor

Untuk ukuran penghantar yang mampu menahan besarnya titik lebur sehingga dirancang menggunakan penghantar tembaga yang solid, maka luas penampang konduktor minimum pengetanahan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

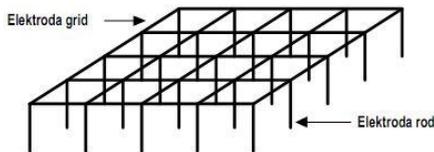
$$A = \frac{I}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \times 10^{-4}}{tc \alpha_r \rho_r}\right) \ln\left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_a}\right)}} \quad (6)$$

Dengan:

- A = Luas penampang elektrode (mm²)
- TCAP =Kapasitas termal per unit volume (J/(cm³°C))
- t_c= Waktu kerja pemutus tegangan (s)
- α_r= Resistivitas material elektrode (Ohm-m)
- ρ_r=Koefisien termal resistivitas pada suhu referensi
- K_o = Koefisien dalam 0°C
- T_m = Temperatur maksimal yang diperbolehkan (°C)
- T_a = Temperatur lingkungan (°C)
- I = Arus gangguan ke bumi (kA)

b. Menghitung Tahanan Pembumian

Pembumian ideal menghasilkan tahanan pembumian yang nilainya mendekati nol terhadap bumi, dalam pelaksanaannya hal ini sulit untuk dicapai. Semakin besar arus gangguan, tahanan pembumian total haruslah semakin kecil.



Gambar 3. Pentanahan Sistem Grid-Rod
Sumber :IEEE std 80, 2000 : 168

Hal itu diupayakan agar kenaikan potensial di permukaan bumi tidak membahayakan manusia. Tahanan pembumian total dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini:

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{LT} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \quad (7)$$

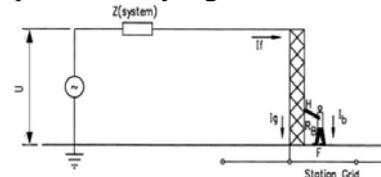
Dengan:

- R_g = Tahanan pembumian (Ohm)
- A = Area pembumian (m²)
- L_T = Total panjang keseluruhan elektrode pembumian (m)
- ρ = Tahanan jenis tanah (Ohm-m)
- h = Kedalaman grid pembumian (m)

c. Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh adalah tegangan yang terdapat diantara suatu obyek yang disentuh dan suatu titik berjarak 1 meter, dengan asumsi

bahwa objek yang disentuh dihubungkan dengan kisi-kisi pembumian yang berada di bawahnya.



Gambar 4. Tegangan Sentuh
Sumber : IEEE std 80, 2000 : 17

Manusia dengan berat badan 70 dan 70 Kg yang berada diantara satu objek dapat dihitung tegangansentuh pada persamaan dibawah ini:

$$E_{touch70} = (1000 + 1,5.C_s.\rho_s) \frac{0,157}{\sqrt{t_s}} \quad (8)$$

$$E_{step70} = (1000 + 6 C_s \rho_s) \frac{0,157}{\sqrt{t_s}} \quad (9)$$

Dengan:

- E_{touch70} = Tegangan sentuh untuk berat badan 70kg (V)
- E_{step70} = Tegangan langkah untuk berat badan 70kg (V)
- C_s = Faktor koreksi lapisan permukaan
- ρ_s = Tahanan jenis kerikil pada permukaan tanah (Ohm-m)
- t_s = Waktu kerja pemutus tegangan (s)

2.4 Metode Bola Bergulir / Rolling Sphere

Metoda bola gulir sebaiknya digunakan untuk mengidentifikasi ruang yang terproteksi dari bagian atau luasan bangunan gedung yang tidak tercakup oleh metoda sudut proteksi pada Tabel 1.

Tabel 1. Penempatan Terminasi Udara Sesuai dengan Tingkat Proteksi

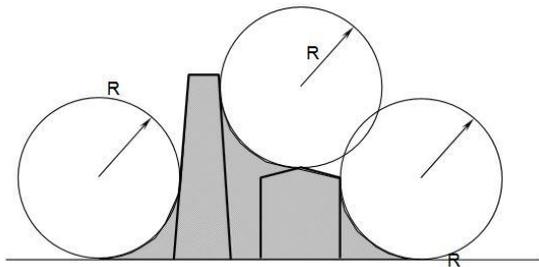
Protection level Tingkat proteksi	h (m) R (m)	20	30	45	60	Mesh width (m) Lebar mata jala (m)
		α ^o	α ^o	α ^o	α ^o	
I	20	25	*	*	*	5
II	30	35	25	*	*	10
III	45	45	35	25	*	10
IV	60	55	45	35	25	20

* Rolling sphere and mesh only apply in these cases.
* Hanya menggunakan bola bergulir dan jala dalam kasus ini.

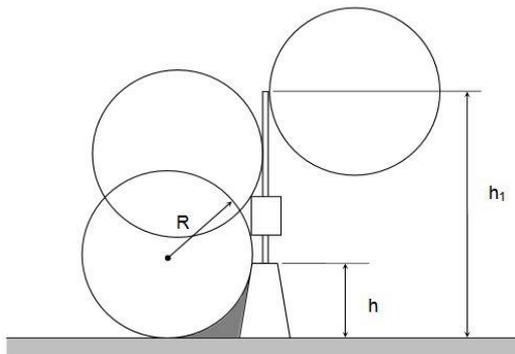
Dengan metoda ini, penempatan sistem terminasi-udara dianggap memadai jika tidak ada titik pada ruang yang diproteksi tersentuh oleh bola gulir dengan radius R, di sekeliling dan di atas bangunan gedung ke semua arah. Untuk itu bola hanya boleh menyentuh tanah dan atau sistem terminasi-udara.

Radius bola gulir harus sesuai dengan tingkat proteksi sistem proteksi petir yang dipilih menurut tabel 1. Gambar 5 & 6

memperlihatkan contoh pemakaian metoda bola gulir terhadap bangunan gedung yang berbeda. Bola dengan radius R digulirkan sekeliling dan di atas bangunan gedung hingga bertemu dengan bidang tanah atau bangunan gedung permanen atau obyek yang berhubungan dengan bidang bumi yang mampu bekerja sebagai konduktor petir. Titik sentuh bola gulir pada bangunan gedung merupakan titik yang dapat disambar petir dan pada titik tersebut harus di proteksi oleh konduktor terminasi-udara.



Gambar 5. Perancangan Terminasi udara Sistem Proteksi Petir Radius Bola Bergulir



Gambar 6. Perancangan Sistem Proteksi Petir pada Menara dengan Menggunakan Terminasi-Udara Metoda Bola Gulir

III. SISTEM PROTEKSI PETIR PADA AREA BERBAHAYA

Sistem Pembumian adalah perangkat instalasi yang berfungsi untuk melepaskan arus petir ke dalam bumi. Sistem pembumian sangat penting untuk penyebaran arus petir aman dan efektif ke dalam tanah. Tingkat kehandalan sebuah sistem pembumian ada di nilai konduktivitas benda logam atau elektroda terhadap tanah yang ditanamnya. Semakin konduktif tanah terhadap benda logam atau elektroda maka akan semakin baik. Menurut NFPA 780-2017, Resistansi pembumian total seluruh sistem termasuk koneksi-koneksi konduktor tidak lebih dari $0,03 \Omega$ dan menurut PUIL 2000 harus dibawah 5Ω .

3.1 Area Penelitian

Main Gathering Station (MGS) Balongan merupakan Instalasi Stasiun Pengumpul terakhir di Pertamina EP Asset 3, khususnya untuk area Jatibarang, area Subang, area Tambun serta lapangan TAC Pertamina EP Asset 3. Dalam lingkup operasional berada dibawah Oil & Gas Transportation Pertamina EP Asset 3. Secara umum Terminal Balongan mempunyai dua fungsi besar, yaitu sebagai Pusat PenerimaProduksi (PPP) serta sebagai Terminal titik serah (*Sales Point*) minyak bumi dari PT Pertamina EP Asset 3 ke Tanker maupun Refinery Unit VI Balongan. Area *control room* di area *central production plant* merupakan area berbahaya gas yang diklasifikasikan sebagai zona 1 dan zona 2. Pada area tersebut terdapat kandungan gas H_2S yang masih tinggi dengan temperature mencapai $200^\circ C$ dan pada lokasi penelitian ini terdapat tanki-tanki penampung minyak mentah, sehingga area ini digolongkan sebagai area berbahaya zona 1 dan zona 2.



Gambar 7. Overview Instalasi Proses MGS Balongan

3.2 Penentuan Sistem Proteksi Petir di Control Room MGS Balongan

Perancangan sistem terminasi udara didasarkan pada tingkat proteksi bangunan. Mengacu kepada NFPA 780 – 2008 *Installation of Lightning Protection System*, bahwa untuk area berbahaya gas radius proteksi penangkal petir ditentukan 30 m. Batang penangkal petir harus ditempatkan di bagian atas struktur pada bangunan.

Pemasangan sistem penangkal adalah sistem terminal udara yang lengkap dengan konduktor bawah, terminal tanah, konduktor interkoneksi dan alat kelengkapan lainnya yang dibutuhkan untuk melengkapi sistem penangkal petir. Semua terminal udara harus memiliki diameter minimal 9,55 mm. Benda logam dengan

ketebalan 4,8 mm atau lebih tidak memerlukan terminal udara namun harus dibumikan. Benda tersebut dianggap dapat berfungsi sebagai terminal udara.

3.3 Mencari Data Lapangan

Dalam merencanakan suatu elektrode pbumian, maka langkah pertama yang harus diketahui adalah besar nilai resistivitas tanah di lokasi *Control Room* Balongan pada Area berbahaya. Nilai resistivitas tanah yang diambil adalah nilai rata-rata dari 3 titik yang diukur. R-10 mempunyai nilai resistans sebesar 65,61 Ohm-m, sedangkan R-11 bernilai 69,35 Ohm-m. Titik R-12 mempunyai resistans sebesar 91,85 Ohm-m. Nilai rata-rata resistivitas tanahnya adalah 75,6 Ohm-m yang merupakan area penelitian. Data nilai resistivitas ini diperoleh dari divisi Teknik Sipil RAM (*Realibility Availabelity & Maintenance*) *Oil and Gas Transportation* PT. Pertamina EP Asset 3. Data nilai resistivitas dapat dilihat pada tabel dibagian lampiran.

Berdasarkan NFPA 780-2017 nilai elektroda ke tanah tidak boleh kurang dari 1/2 inch (12,7 mm) di diameter dan 8 ft (2,4 m) panjang. Mengacu pada aturan ini ditetapkan panjang elektroda yang ditanam (L) = 6 meter dan *outer* diameter elektroda (d) = 19 mm.

Data tentang luas daerah yang ingin dilindungi oleh sistem proteksi petir adalah daerah *control room*. Luas daerah yang dilindungi adalah 11 m x 8 m atau 88m².

3.4 Sistem Proteksi Petir Eksisting di *Control Room* Area Berbahaya

Dari hasil pencarian data teknis eksisting sistem proteksi petir di *Control Room* area berbahaya MGS Balongan, tidak ditemukan terminasi udara di bagian atas / atap bangunan *control room*, di dapat hanya satu elektrode pbumian yang di kontrol dengan satu *grounding pit*. Kondisi *grounding rod* yang diketanahkan terlihat pada gambar 8.



Gambar 8. Kondisi Sistem Pbumian Eksisting Bangunan Area Berbahaya

Pengukuran langsung pbumian eksisting untuk proteksi bangunan area berbahaya adalah dengan sistem elektrode pbumian tunggal. Data bangunan diketahui sebagai berikut:

- Resistivitas tanah (ρ) = 75,6 Ohm-m
- Panjang elektroda yang ditanam (L) = 2 meter
- *Outer* diameter elektroda dalam meter (d)=19 mm
- Jumlah elektroda yang ditanam (n) = 1

Untuk menghitung nilai tahanan elektrode batang dapat menggunakan persamaan:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\log\left(\frac{8L}{d}\right) - 1 \right]$$

$$R = \frac{75,6}{2\pi \cdot 2} \left[\log\left(\frac{8 \cdot 2}{0,019}\right) - 1 \right]$$

$$R = 1,78 \Omega$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai satu buah elektrode pbumian ini adalah 1,78 Ω .

Setelah dilakukan pengukuran panjang elektrode yang ditanam (L) dan *outer* diameter elektrode batang (d), dilakukan pengukuran tahanan resistansi menggunakan *earth tester* di *grounding pit Control Room* area berbahaya. Hasil pengukuran tahanan pbumian menggunakan *earth tester* di *grounding pit* eksisting *control room* area berbahaya MGS Balongan dengan hasil 2,1 Ω .

IV. ANALISA DAN PERHITUNGAN

Area berbahaya diklasifikasikan sebagai area berbahaya gas zona 1 dan zona 2. Pada area berbahaya dibutuhkan sistem instalasi proteksi peralatan dari pelepasan gas mudah terbakar. Instalasi peralatan pada *control room* area berbahaya akan dihitung sesuai kebutuhan sistem instalasi proteksi petir di area berbahaya.

4.1 Perhitungan Sistem Instalasi Proteksi Petir di Area Berbahaya

Dari data yang telah didapatkan dari objek dilapangan, sebagai data acuan berdasarkan

diagram alir prosedur pemilihan sistem proteksi petir maka dapat dihitung perancangan untuk kebutuhan sistem proteksi petir yang akan di gunakan pada bangunan area berbahaya.

- a. Menghitung Intensitas Sambaran Petir ke Tanah (N_g)

$$N_g = 0,04 T_d^{1,25} \text{ per km}^2 \text{ per tahun}$$

$$= 0,04 \times 187^{1,25} \text{ per km}^2 \text{ per tahun}$$

$$= 27,6 \text{ sambaran petir per km}^2 \text{ per tahun}$$

- b. Menghitung Area Cakupan Ekuivalen dari Bangunan Area Berbahaya

Data bangunan adalah sebagai berikut :

a = Panjang bangunan (11 m)

b = Lebar bangunan (8 m)

h = Tinggi bangunan (4,25 m)

maka,

$$A_e = ab + 6h(a+b) + 9\pi h^2$$

$$= p \times l + 6h(p+l) + 9\pi h^2$$

$$= 11 \times 8 + 6(4,25) \times (11+8) + 9\pi(4,25)^2$$

$$= 88 + 484,5 + 510,45$$

$$= 1082,95 \text{ m}^2$$

- c. Menghitung Frekuensi Sambaran Petir Langsung (N_d)

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} \text{ per tahun}$$

$$= 27,6 \times 1082,95 \times 10^{-6} \text{ per tahun}$$

$$= 0,03 \text{ sambaran petir per tahun}$$

- d. Menentukan Jumlah Kejadian Kritis (N_c) Menurut Standar NFPA 780-2017

$$(N_c) = \frac{1,5 \times 10^{-3}}{C}$$

Dimana nilai $C = (C_2) (C_3) (C_4) (C_5)$
 $C = 0,5 \times 0,5 \times 1,0 \times 5,0$
 $C = 1,25$

$C_2 = 0,5$ (Struktur logam dan atap logam)

$C_3 = 0,5$ (Struktur isi dengan nilai rendah dan tidak mudah terbakar)

$C_4 = 1,0$ (Struktur hunian biasanya ditempati/dihuni)

$C_5 = 5,0$ (Konsekuensi petir kelanjutan layanan fasilitas diperlukan, tidak ada- dampak lingkungan)

$$(N_c) = \frac{1,5 \times 10^{-3}}{1,25}$$

$$= 0,0012$$

- e. Menentukan Tingkat Proteksi

Setelah mendapatkan nilai $N_d = 0,03$ sambaran petir per tahun dan nilai $N_c = 0,0012$. Berdasarkan NFPA 780-2017 tentang sistem proteksi petir pada bangunan gedung, suatu bangunan diperlukan perancangan sistem proteksi petir jika nilai $N_d > N_c$ dengan efisiensi $E \geq E_c$.

$$E_c = 1 - N_c/N_d$$

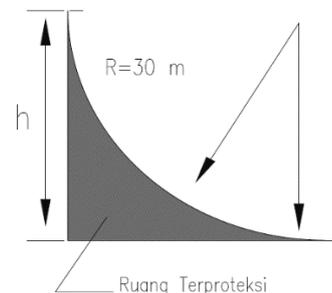
$$E_c = 1 - 0,0012/0,03$$

$$E_c = 0,96$$

Dari perhitungan diatas diperoleh nilai frekuensi sambaran petir tahunan setempat dan nilai efisiensi adalah 0,96 (96 %) berada pada tingkat proteksi level II, lihat tabel 2.10. Sehingga didapatkan tingkat proteksi bangunan pada *hazardous building* berada pada tingkatan proteksi level II.

4.2 Perancangan Sistem Terminasi Udara Penangkal Petir

Perancangan sistem penangkal petir yaitu dengan memasang sistem terminasi udara berdasarkan tingkat proteksi bangunan yang sebelumnya telah dihitung. Dari hasil perhitungan didapatkan tingkat proteksi bangunan adalah tingkat proteksi level II. Perancangan sistem terminasi udara untuk tingkat proteksi level II berdasarkan tabel radius bola bergulir adalah radius 30 meter seperti terlihat pada gambar 9.

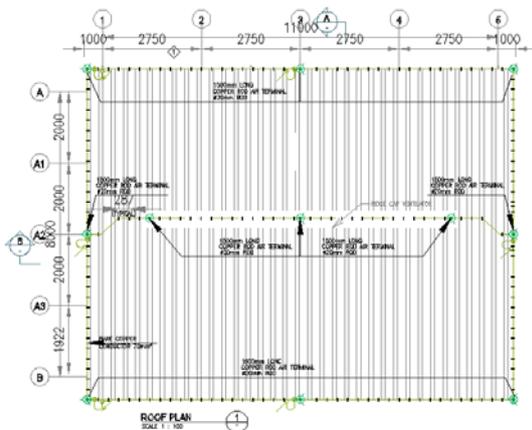


Gambar 9. Metode Proteksi dengan Radius 30 meter

Gambar 9 merupakan terminasi udara pada *hazardous building* menggunakan metode bola bergulir atau *rolling sphere* dengan cakupan area

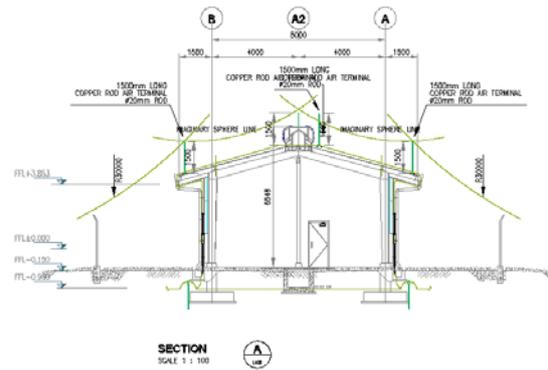
bola bergulir radius 30 meter. Nilai (h) menunjukkan ketinggian terminasi udara yang akan mempengaruhi area perlindungan proteksi petir pada *hazardous building*. Sedangkan area yang diarsir adalah area proteksi dari bola bergulir pada *hazardous building* yang terlindungi dari sambaran petir.

Tata letak terminasi udara dapat dilihat pada gambar 10. Tata letak sistem terminasi udara untuk mengetahui cakupan ruang proteksi dan penempatan terminasi udara pada *hazardous building*.

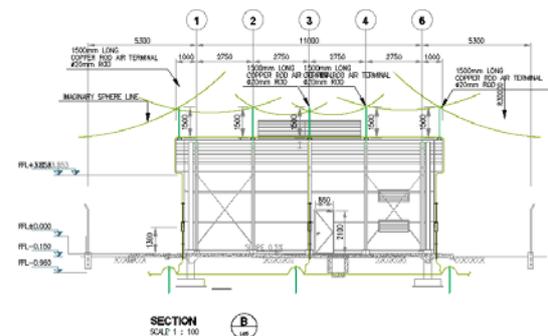


Gambar 10 Tata Letak Terminasi Udara pada *Control room*

Pada gambar 10 terminasi udara dipasang pada atap bangunan hazard yang memiliki struktur baja. Dari gambar tampak atas dapat dilihat titik terminasi udara berjumlah 11 buah lengkap dengan konduktor penyalur terminasi udara. Tata letak terminasi udara disesuaikan dengan bentuk bangunan dengan radius 30 meter. Area cakupan ruang proteksi bola bergulir dapat dilihat pada gambar 11 dan 12 tampak samping letak terminasi udara. Untuk detail pemasangan terminasi udara pada ujung atap bangunan *hazard* dengan ketinggian 1,5 m dapat dilihat di gambar 13.

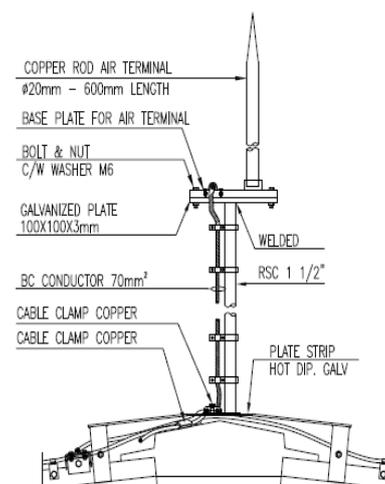


Gambar 11. Tampak Samping A Letak Terminasi Udara



Gambar 12. Tampak Samping B Letak Terminasi Udara

Gambar tampak samping A dan B adalah tampak samping pemasangan terminasi udara dengan ketinggian masing-masing 1,5m. Dapat dilihat bahwa proteksi radius bola bergulir dengan radius 30 meter dapat melindungi bangunan *hazard* yang berukuran 11 m x 8 m. Gambar detail pemasangan terminasi udara dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Detail Pemasangan Terminasi Udara dengan Ketinggian 1,5 m

Gambar 13 adalah detail pemasangan terminasi udara pada ujung atap bangunan

hazard dengan ketinggian 1,5 meter dan menggunakan konduktor penghantar ukuran 70 mm². Terminasi udara di pasaran sebenarnya hanya terdapat dengan ketinggian 60 cm, sehingga ditambahkan conduit khusus yang akan di las dengan base plate atau dudukan terminasi udara sehingga didapatkan ukuran sesuai dengan yang diinginkan yaitu 1,5 meter.

4.3 Perhitungan Perancangan Sistem Penumian

Untuk memperbaiki sistem pentanahan ekisting yang ada pada bab 3d dengan nilai pentanahan sebesar 2,1 Ω (hasil pengukuran) dan 1,78 Ω (hasil perhitungan). Maka dirancang elektrode penumian untuk proteksi petir menggunakan sistem penumian *Grid-Rod*. Berdasarkan diagram alir tahap perancangan sistem penumian pada gambar 2, perhitungan secara detail dijelaskan melalui tahap dibawah ini.

a. Menghitung Ukuran Penghantar

$$A = \frac{I}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \times 10^{-4}}{tc \text{ ar } \rho r}\right) \ln\left(\frac{Ko+Tm}{Ko+Ta}\right)}}$$

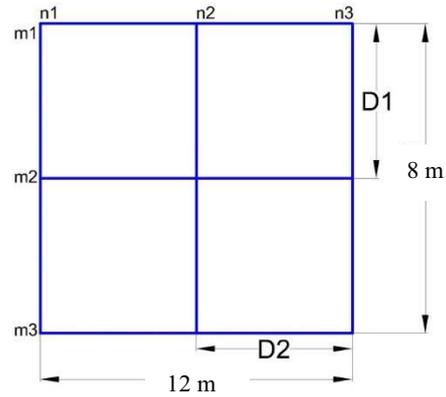
$$= \frac{18}{\sqrt{\left(\frac{3,42 \times 10^{-4}}{6 \cdot 0,00393 \cdot 1,73}\right) \ln\left(\frac{234+1083}{234+40}\right)}}$$

$$= 156,44 \text{ mm}^2$$

Dari hasil perhitungan diatas, dapat dilihat bahwa luas penampang yang dibutuhkan adalah 156,44 mm². Luas elektrode yang dapat dipilih adalah 160 mm² sampai ke ukuran diatasnya. Namun standar dari PLN menentukan bahwa luas penampang yang digunakan minimal sebesar 300mm².

b. Menetapkan Rancangan Awal

Sistem penumian yang dirancang pada *Control Room* MGS Balongan ini adalah *grid-rod*. Tahap perancangan awal menentukan nilai D, n, L_T dan h dimulai dengan jабaran gambar di bawah ini:



Gambar 12. Perancangan Tata Letak Sistem Penumian *Grid*

Gambar di atas merupakan perancangan awal tata letak penumian sistem *grid*. Area penumian berukuran 11 x 8 meter (L₁ x L₂). Jumlah elektrode yang diparalel di sisi panjang dan lebarnya adalah 3 (n₁, n₂, n₃ dan m₁, m₂, m₃).

c. Menghitung Tahanan Penumian

Setelah menentukan nilai perancangan awal, maka gunakan persamaan 7 untuk menghitung tahanan penumianya.

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right]$$

$$= 75,6 \left[\frac{1}{111} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 88}} \left(1 + \frac{1}{1+5 \sqrt{\frac{20}{88}}} \right) \right]$$

$$= 0,344 \text{ ohm}$$

4.4 Analisa Perancangan Sistem Proteksi Petir pada *Hazardous Building*

Dari hasil perancangan perhitungan untuk sistem proteksi petir, bangunan *hazard* mempunyai nilai frekuensi sambaran petir langsung (Nd) sebesar 0,03 sambaran petir per tahun dengan luas area ekivalen sambaran petir bangunan (Ae) 1082,95 m². Nilai intensitas sambaran petir ke tanah (Ng) 27,6 sambaran petir per km² per tahun. Sehingga didapatkan nilai tahanan sistem penumian pada bangunan *hazard* adalah 0,344 Ω dengan jumlah elektrode 9 buah. Nilai ini sudah memenuhi nilai tahanan standar PUIL 2000 yaitu tahanan keseluruhan di bawah 5 Ω.

Perhitungan perancangan sistem proteksi petir berdasarkan acuan diagram alir prosedur pemilihan sistem proteksi petir SNI-03-7015-2004 tentang sistem proteksi petir pada bangunan gedung dan NFPA 780 – 2017 tentang *Standar for The Installation of Lightning Protection Systems*. Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa tingkat proteksi petir pada *hazardous building* adalah level II dengan radius bola bergulir 30 meter. Hal ini juga sesuai dengan aturan pada NFPA 780-2017 yang mengatakan bahwa radius proteksi penangkal petir untuk *hazardous building* adalah 30 meter. Ketinggian terminasi udara 1,5 meter sudah dapat melindungi bangunan *hazard* dari bahaya sambaran petir.

Perancangan sistem proteksi pada *hazardous building* mempunyai terminasi udara berjumlah 11 buah dan elektroda batang berjumlah 9 buah dengan konduktor turun menggunakan konduktor tembaga 70mm². Semua konduktor turun dihubungkan ke elektroda pembumian pada *grounding pit*.

Pada *hazardous building* yang merupakan bangunan dengan struktur baja, semua struktur bangunan dan benda-benda logam dibumikan, karena benda tersebut merupakan penghantar dan dapat berfungsi sebagai terminal udara dan mengalirkan listrik.

Perhitungan dan pengukuran sistem pembumian pada *hazardous building* eksisting yang dihitung dan diukur pada bab sebelumnya dengan satu buah elektroda pembumian didapat nilai tahanan pembumian 1,7 Ω , dan 2,1 Ω ketika dilakukan pengukuran langsung menggunakan *earth tester*, dimana nilai tahanan ini jika mengacu ke standar PUIL tidak memenuhi karena nilai tahanan keseluruhan harus dibawah 5 Ω .

V. KESIMPULAN

Dari perhitungan dan analisis pada Bab IV maka dapat disimpulkan bahwa Bangunan *control room Main Gathering Station* (MGS) Balongan area berbahaya (*Hazardous Building*) dengan tinggi bangunan 4,25 meter sejajar dengan bangunan sebelumnya tidak tercakup sudut proteksi lindung petir, perlu perancangan proteksi petir dengan tingkat proteksi level II dengan radius 30 meter sebanyak 11 buah terminasi udara. Nilai tahanan pembumian

eksisting dengan satu buah elektroda batang adalah 2,1 Ω menggunakan *earth tester*, dari perancangan sistem pembumian di desain dengan elektroda *Grid-Rod* didapat nilai resistansi pembumian sebesar 0,344 Ω dengan sembilan elektroda ditanahkan. Nilai desain perhitungan ini sudah sesuai standar PUIL 2000 yaitu harus dibawah 5 Ω untuk keseluruhan nilai tahanan pembumian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. BS 7430-2011, *Code of Practice for Protective earthing of electrical installations*. BSI, 2011.
- [2]. Bottrill, G. Bottrill and Associates, London, United Kingdom. *Practical Electrical equipment and Installations in Hazardous Areas*, 2005.
- [3]. IEC 62305-1:2010, *Protection Against Lightning-Part1: General Principles*.
- [4]. IEC 60079-1, *Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres – Flameproof Enclosure ‘d’*.
- [5]. IEC 60079-10, *Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres – Classification of Hazardous Areas*.
- [6]. IEC 60079-14, *Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres – Electrical Installations in Hazardous Areas*.
- [7]. IEEE Std 80-2000, *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*.
- [8]. NFPA 780-2017, *Standard for The Installations of Lightning Protection Systems*.
- [9]. Panitia Revisi PUIL 2000. *Peraturan Umum Instalasi Listrik 2000*.
- [10]. SNI 03-7015-2004, *Sistem Proteksi Petir Pada Bangunan Gedung*.
- [11]. Chumaidy, Adib. 2015. *Sistem Pembumian. Materi perkuliahan ISTN*. Jakarta.

- [12]. Masrifah, ST. 2017. *Studi Perencanaan Berbahaya. ISTN. Jakarta. Sistem Instalasi Listrik pada Area Gas*