

Analisis Sistem Proteksi Petir Eksternal pada Pabrik 1 PT. Petrokimia Gresik

Rendi Bagus Pratama, I Made Yulistya Negara, dan Daniar Fahmi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: rendibaguspratama@gmail.com, yulistya@ee.its.ac.id, daniarfahmi.elits@gmail.com

Abstrak—Petir adalah fenomena alam yang bermula dari proses ionisasi hingga terjadi loncatan muatan dari awan ke bumi atau sebaliknya. Fenomena ini merupakan salah satu penyebab gangguan pada bangunan dan instalasi tinggi di Indonesia. Intensitas petir yang sedang di Kabupaten Gresik, yakni 159 hari guruh per tahun merupakan ancaman serius bagi Pabrik 1 PT Petrokimia Gresik, khususnya bangunan *Prilling Tower* dan *DCS Building*. Menurut analisis metode *rolling sphere* diketahui bahwa sistem proteksi petir eksternal *Prilling Tower* tidak sesuai pada standar IEC 1024-1-1 dan IEC 62305. Kemudian analisis sistem proteksi petir pada *DCS Building* menunjukkan bahwa konfigurasi *grounding* eksisting tidak aman. Petri menyebabkan beda potensial yang tinggi antar *ground rod* pada sistem tersebut. Selain itu pelepasan *Surge Protective Device* berdampak terhadap tingginya magnitudo *Ground Potential Rise* *grounding DCS Building*. Secara umum penelitian ini menunjukkan bahwa diperlukan penyempurnaan sistem proteksi petir pada *Prilling Tower* dan *DCS Building*.

Kata Kunci—petir, sistem proteksi petir, sistem *grounding*, *surge protective device*.

I. PENDAHULUAN

INDONESIA termasuk negara yang memiliki frekuensi sambaran petir tertinggi di dunia. Menurut T. Haryono, penyebabnya adalah letak Indonesia di wilayah ekuatorial yang menerima insolasi dalam jumlah besar dengan hampir 70 persen wilayah merupakan perairan sehingga penguapan yang terjadi sangat besar dan syarat terbentuknya awan petir mudah terpenuhi [1].

Intensitas petir yang sedang di Kabupaten Gresik, yakni 159 hari guruh per tahun merupakan ancaman serius bagi Pabrik 1 PT Petrokimia Gresik, khususnya bangunan *Prilling Tower* dan *DCS Building*.

Penelitian ini membahas tentang evaluasi sistem proteksi petir *Prilling Tower* dan *DCS Building*. *Prilling Tower* merupakan bangunan tertinggi pada Pabrik 1 PT Petrokimia Gresik sedangkan *DCS Building* berisi peralatan instrumentasi dan kontrol yang sangat sensitif terhadap gangguan petir [2].

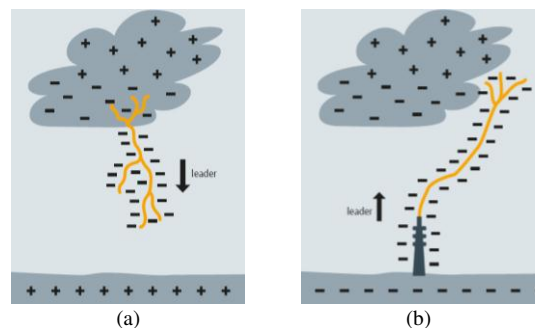
II. PETIR DAN SISTEM PROTEKSINYA

A. Petir

Petir merupakan fenomena alam probabilistik yang dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan, gangguan pada

peralatan elektronik dan kematian makhluk hidup [3]. Berdasarkan standar IEEE 998-1996, sambaran petir terjadi dalam dua tahap yaitu perpindahan elektron dari awan ke bumi akibat ionisasi di udara dan sambaran balik atau *return stroke*.

Proses ionisasi pada awan petir akan menghasilkan medan listrik antara awan dengan bumi. Apabila medan listrik tersebut mencapai level *breakdown* kira-kira 100 juta volt maka akan terjadi pelepasan elektron dari awan menuju bumi (*downward leader*) yang berupa lidah-lidah petir (*step leader*) dan berlangsung secara tahap demi tahap (*step by step*). Terbentuknya *downward leader* dengan kecepatan tinggi menyebabkan naiknya medan listrik antara ujung *step leader* dengan permukaan bumi. Akibatnya terbentuklah *upward leader* yang berasal dari puncak-puncak tertinggi objek di permukaan bumi. Proses ini berlanjut hingga keduanya bertemu di suatu titik pada ketinggian tertentu.



Gambar 1 Mekanisme discharge: (a) *downward leader* (b) *upward leader* ^[4]

B. Sistem Proteksi Petir

Sistem Proteksi Petir (SPP) merupakan usaha dalam mengatasi bahaya yang diakibatkan oleh sambaran petir [5]. Terdapat dua jenis SPP yaitu eksternal yang berfungsi melindungi objek dari sambaran langsung dan internal yang berfungsi melindungi objek dari sambaran tidak langsung.

Rancang SPP suatu bangunan memerlukan analisis kebutuhan proteksi petir untuk melihat apakah objek tersebut membutuhkan proteksi. Hal ini berhubungan erat dengan jumlah hari guruh per tahun suatu daerah [6]. Menurut standar IEC 61024-1-1, kebutuhan proteksi petir dapat dihitung menggunakan persamaan 1,2 dan 3 berikut [7].

$$Nd = Ng \times Ae \times 10^{-6} \quad (1)$$

$$Ng = 4 \times 10^{-2} \times T_d^{1.26} \quad (2)$$

$$Ae = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2 \quad (3)$$

Dimana:

a = panjang atap gedung (m)

b = lebar atap gedung (m)

h = tinggi atap gedung (m)

Td = hari guruh pertahun

Ng = kerapatan sambaran petir ke tanah (sambaran / km²/ tahun)

Ae = luas daerah yang memiliki nilai sambaran petir sebesar Nd (km²).

C. Metode Rolling Sphere

Menurut standar IEC 62305 metode *rolling sphere* (RSM) dibayangkan sebagai bola khayal dengan radius R yang bergulir pada suatu objek. Titik sentuh bola khayal pada objek merupakan lokasi yang akan disambar petir sehingga seluruh titik tersebut harus dilindungi. Nilai R dapat dihitung menggunakan persamaan 4 [8]. Nilai tersebut berguna untuk menentukan seberapa besar tingkat proteksi yang dibutuhkan (tabel 1).

$$R = 10I^{0.65} \quad (4)$$

Dimana:

R = radius bola bergulir (m)

I = estimasi arus puncak petir (kA)

Tabel 1 Hubungan tingkat proteksi petir (LPL) dengan metode RSM standar IEC 62305

Parameter	LPL I	LPL II	LPL III	LPL IV
Arus petir minimum (kA)	3	5	10	16
Arus petir maksimum (kA)	200	150	100	100
Radius RSM (m)	20	30	45	60

D. Metode Sudut Perlindungan

Metode lain yang direkomendasikan oleh standar IEC 62305 adalah sudut perlindungan atau *protection angle* (PA). Namun terdapat batasan tertentu yang menyebabkan metode ini tidak dapat diterapkan pada seluruh *plant*.

Persamaan 5 berikut merupakan persamaan Hasse dan Wiesinger yang digunakan untuk menghitung zona proteksi petir metode PA.

$$\alpha^\circ = \sin^{-1} \left(1 - \frac{h}{r} \right) \quad (5)$$

Dimana:

α° = sudut perlindungan

h = tinggi bangunan (m)

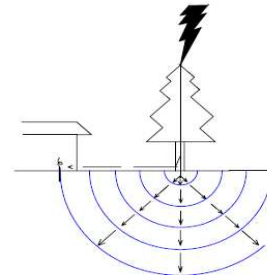
r = jarak sambar (m)

E. Grounding dan Ground Potential Rise

Grounding atau pentanahan berguna membuang arus petir ke tanah. Dikenal tiga macam grounding, yaitu grounding power atau electrical, petir, dan instrumentasi [9].

Ground Potential Rise (GPR) menurut standar IEEE 367

adalah sebuah fenomena yang diakibatkan oleh aliran arus yang mengalir pada suatu impedansi *ground rod* [10]. Parameter aman dari suatu sistem grounding adalah tidak menghasilkan *touch voltage*, *step voltage* dan GPR melebihi batas aman. Menurut studi Jinliang He, batas maksimum GPR pada sistem grounding adalah 5 kV [11].



Gambar 2 Fenomena GPR [10]

Bila arus petir masuk ke tanah lewat suatu elektroda maka akan mengenai elektroda lain di dalam tanah pada jarak tertentu. Gambar 2 menunjukkan distribusi arus mengalir secara radial sehingga resistansi tanah antar elektroda (Rh) dapat dihitung menggunakan persamaan 6 berikut.

$$R_h = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (6)$$

Dimana:

R_h = resistansi antara 2 elektroda dengan jarak r_2 (Ω)

ρ = tahanan jenis tanah (Ωm)

r_1 = kedalaman elektroda (m)

r_2 = jarak elektroda (m)

Nilai resistansi kabel grounding dan *down conductor* dapat dihitung menggunakan rumus 7 berikut.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (7)$$

Dimana:

R = resistansi kabel (Ω)

ρ = hambatan jenis (Ωm)

l = panjang kabel (m)

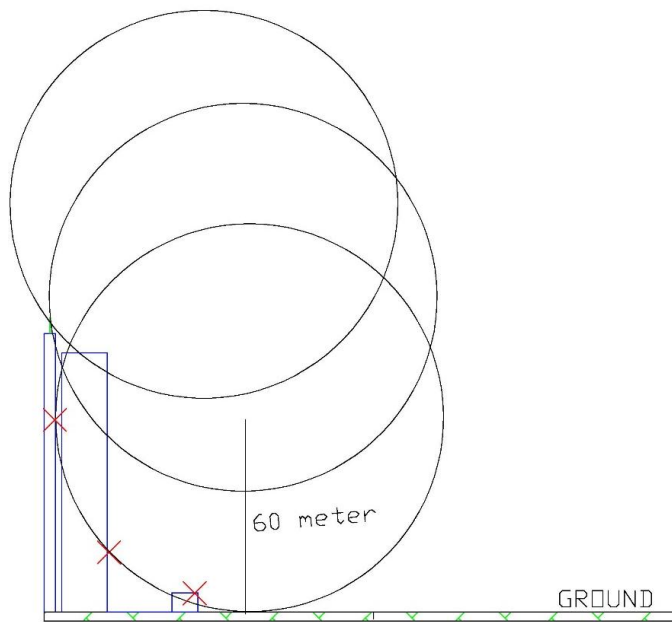
A = luas penampang (mm^2)

III. DATA DAN MODEL

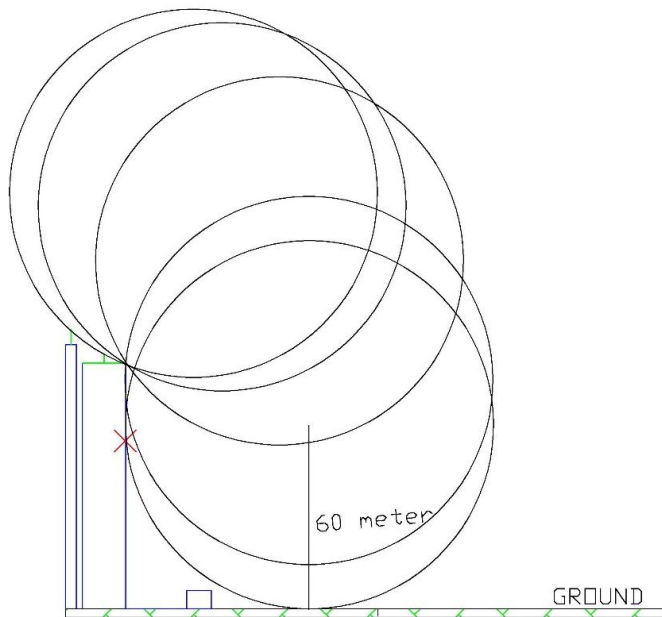
A. Data Prilling Tower

Tinggi dan lebar *Prilling Tower* adalah 80 meter dan 14 meter. SPP eksternal terpasang pada menara yang terletak 2 meter di sebelah selatannya. Tinggi dan lebar menara tersebut adalah 86 meter dan 2,5 meter.

SPP eksternal yang terpasang berjenis non-konvensional dengan tipe *dynasphere*. Radius proteksi maksimumnya adalah 100 meter dan dipasang setinggi 5 meter dari atap menara.



Gambar 4 Pemodelan zona proteksi Prilling Tower metode RSM



Gambar 5 Rancangan SPP eksternal Prilling Tower

C. Analisis Metode Sudut Perlindungan

Berdasarkan data SPP maka dapat dihitung sudut perlindungannya sebagai berikut.

$$x = h \tan \alpha^\circ$$

$$\alpha^\circ = \tan^{-1} \frac{x}{h}$$

$$\alpha^\circ = \tan^{-1} \frac{100}{91}$$

$$\alpha = 47,7^\circ$$

Ketika bekerja pada kondisi maksimum (radius 100 meter) sudut perlindungan SPP sebesar $47,7^\circ$. Dengan menggunakan persamaan 5 dapat dihitung nilai R (radius bergulir).

$$R = \frac{h}{1 - \sin \alpha^\circ}$$

$$R = \frac{91}{1 - \sin 47,7}$$

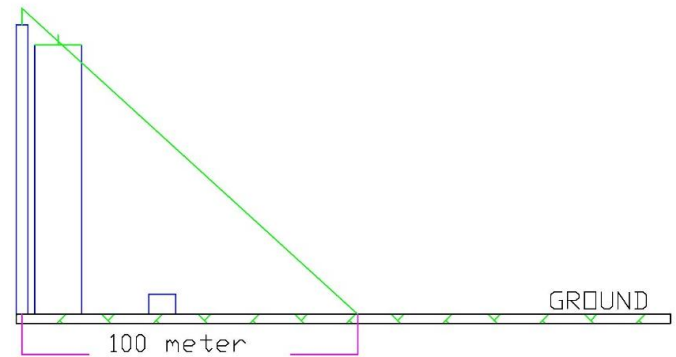
$$R = 349,5 \text{ meter}$$

Melalui persamaan RSM didapatkan besarnya arus puncak petir sebagai berikut.

$$R = 10I^{0,65}$$

$$I = \sqrt[0,65]{349,5:10}$$

$$I = 236,8 \text{ kA}$$



Gambar 6 Zona proteksi petir maksimum saat $\alpha = 47,7^\circ$

D. Analisis Sistem Grounding Eksisting

Seluruh simulasi menggunakan arus petir 10 kA, 20 kA dan 30 kA periode 1,2 μ s/ 50 μ s. Berdasarkan tabel 5 diperoleh hasil bahwa tegangan GPR pada titik grounding instrumentasi 1, instrumentasi 2 dan electrical relatif berbeda cukup besar dengan nilai paling signifikan terdapat pada grounding instrumen 1.

Tabel 4
Tegangan pada 4 titik pengukuran akibut GPR pada sistem grounding isolated atau terpisah

Arus Petir	Ground Potential Rise (kV)			Tegangan Trafo (kV)
	Instrumen 1	Instrumen 2	Electrical	
10 kA	2,99	2,07	2,15	2,68
20 kA	5,99	4,15	4,31	4,84
30 kA	8,99	6,22	6,46	6,99

Jika dilihat dari sisi grounding saja, saat arus petir sebesar 10 kA maka tegangan GPR yang dihasilkan masih dalam batas toleransi aman dimana nilai GPR maksimum adalah 5 kV. Namun ketika arus semakin besar pada seluruh titik grounding nilainya semakin besar sehingga berpotensi melebihi nilai 5 kV. Di sisi lain tegangan transien yang timbul pada trafo masih dalam kategori aman karena sesuai BIL trafo dengan sistem 6 kV bernilai lebih dari 30 kV [12].

Secara umum simulasi ini menunjukkan bahwa tegangan di seluruh titik pengukuran grounding tidak sesuai pada batas yang diijinkan oleh standar.

E. Sistem Grounding Equipotensial

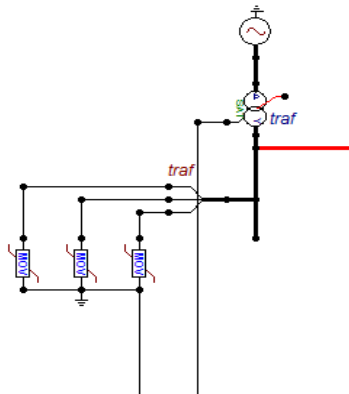
Tabel 5
Tegangan pada 4 titik pengukuran akibat GPR pada sistem grounding equipotensial multiple ground rod

Arus Petir	Ground Potential Rise (kV)			Tegangan Trafo (kV)
	Instrumen 1	Instrumen 2	Electrical	
10 kA	2,07	2,06	2,06	2,59
20 kA	4,14	4,13	4,13	4,66
30 kA	6,22	6,20	6,20	6,72

Tabel 5 merupakan hasil simulasi gambar 4. Pada simulasi ini resistansi *ground rod* baru dipilih nilai 0,75. Grounding equipotensial dapat mereduksi dan menyamakan tegangan grounding. Saat arus 10 kA, 20 kA maupun 30 kA nilai GPR di tiga titik grounding relatif bernilai sama. Bahkan saat nilai arus petir semakin besar beda potensial dapat dijaga tetap tidak ada. Sedangkan dampak GPR pada trafo tetap ada, yakni terlihat dari naiknya tegangan melebihi nominalnya

F. Rekomendasi Grounding dengan Penambahan Surge Protective Device

Menurut Joe Zulio, diperlukan pengaman surja atau disebut dengan *surge protective device* (SPD) untuk bisa meminimalisasi dampak sambaran petir [13]. Gambar 16 merupakan pemodelan SPD berupa *lightning arrester* tegangan rendah yang dipasang pada konfigurasi sistem grounding equipotensial *multiple ground rod*.



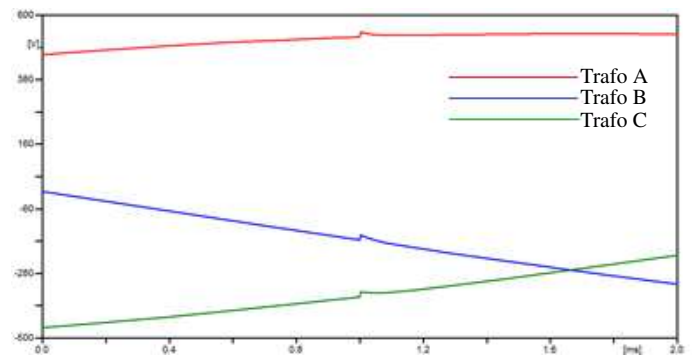
Gambar 7 Pemasangan SPD lightning arrester tegangan rendah pada incoming DCS Building

Tabel 6 menyajikan empat buah titik pengukuran akibat GPR pada sistem grounding equipotensial dengan penambahan SPD. Secara umum simulasi ini menunjukkan bahwa kombinasi sistem grounding *multiple ground rod* dan pemasangan SPD berdampak baik. Hal signifikan yang terjadi adalah magnitudo tegangan GPR di setiap titik grounding pengukuran bernilai kecil yaitu dibawah 1 kV. Tabel 4.3

menunjukkan bahwa kenaikan tegangan GPR setiap arus petir 10 kA lebih besar tidak pernah melebihi 100 Volt. Atas dasar ini dapat disimpulkan bahwa potensi terjadi GPR dengan magnitudo diatas 5 kV ketika arus petir lebih dari 30 kA sangat kecil.

Tabel 6
Tegangan pada 4 titik pengukuran akibat GPR pada sistem grounding equipotensial multiple ground rod dengan penambahan SPD

Arus Petir	Ground Potential Rise (V)			Tegangan Trafo (V)
	Instrumen 1	Instrumen 2	Electrical	
10 kA	16,80	16,74	16,74	542,41
20 kA	33,59	33,47	33,47	559,20
30 kA	50,39	50,21	50,21	575,97



Gambar 8 Tegangan trafo akibat ground potential rise 10 kA

V. KESIMPULAN

Berdasarkan evaluasi terhadap sistem proteksi petir bangunan *Prilling Tower* dan *DCS Building* Pabrik 1 PT Petrokimia Gresik diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem proteksi petir *eksternal eksisting Prilling Tower* belum sesuai dengan standar IEC 61024-1-1 karena tidak berada pada level proteksi 4 atau dengan kata lain tidak mampu mengamankan bangunan saat disambar arus petir 16 kA.
2. Arus petir maksimal yang mampu ditangkap oleh sistem proteksi petir *eksternal Prilling Tower* adalah 236,8 kA dengan radius proteksi 100 meter.
3. Tegangan *Ground Potential Rise* pada sistem grounding *eksisting DCS Building* melebihi 5 kV (batas maksimum) apabila petir menyambar dengan magnitudo 20 kA atau lebih.
4. Terdapat beda potensial hingga mendekati 1 kV antara *ground rod* instrumen 1 dengan instrumen 2 serta instrumen 1 dengan electrical pada sistem grounding *eksisting DCS Building*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Supartono, E., Haryono, T., & Suharyanto. 2015. Application of Cone Protection and Rolling Sphere Method in External Lightning Protection Analysis on 214 Radar Tower. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 475-481.
- [2] Hasse, P. 2008. *Overvoltage Protection of Low Voltage System Second Edition*. London: The Institution of Engineering and Technology.
- [3] Cooray, V. 2010. *Lightning Protection*. London: The Institution of Engineering and Technology.
- [4] DEHN. 2014. *Lightning Protection Guide 3rd Edition*. Neumarkt: DEHN + SÖHNE.
- [5] IEC 62305. 2006. *International Standard on Protection Against Lightning*. Jenewa.
- [6] Pujiantara, R. F. 2015. *Analisis Sistem Proteksi Petir di PT Medco E&P Lematang*. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro ITS.
- [7] IEC 61024. 2008. *Protection Against Lightning Electromagnetic*. Jenewa.
- [8] Ait-Amar, S., & Berger, G. 2009. A Modified Version of the Rolling Sphere Method. *IEEE Transactions on Dielectric and Electrical Insulation*, 718-725.
- [9] Vijayaraghavan, G., Brown, M., & Barnes, M. 2004. *Practical Grounding, Bonding, Shielding and Surge Protection*. Oxford: IDC Technologies.
- [10] Sekioka, S., Aiba, K., & Okabe, S. 2007. Lightning Overvoltages on Low Voltage Circuit Caused by Ground Potential Rise. *International Conference on Power Systems Transient (IPST'07)*. Lyon: IEEE
- [11] He, J., Zhang, B., & Zeng, R. 2015. Maximum Limit of Allowable Ground Potential Rise of Substations Grounding System. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 5010-5016.
- [12] IEC 60664-1. 2007. *Insulation Coordination for Equipment within Low-Voltage*. Jenewa
- [13] Zullo, J. 2009. Proper Grounding of Instrument and Control Systems in Hazardous Locations. *Explosion Protection and Hazardous Locations Conference* (hal. 1-12). San Jose: IDC Technologies.