

Analisa Kebutuhan Sistem Proteksi Petir Pada Gedung Pascasarjana Universitas Ichsan Gorontalo

Amelya Indah Pratiwi^{1*}, Steven Humena², Hendrawan³

^{1,2,3}Universitas Ichsan Gorontalo

*Email: amelyaindahpratiwi@gmail.com

Abstract

High-rise buildings such as the Ichsan University of Gorontalo Postgraduate Building have a high probability of being struck by lightning. The purpose of this study was to analyze the need for a lightning strike protection system based on the General Regulations for Lightning Distribution Installations (PUIPP) and the International Electrotechnical Commission (IEC) 1024-1-1. The initial step that will be carried out is direct observation to determine the area of the building, construction, type of roof, etc. The next step is to calculate the lightning strike protection system requirement index (R), the level of protection and lightning strike protection system planning for the Postgraduate building using the angle of protection method. The index of the need for a protection system at the Ichsan University of Gorontalo Postgraduate Building is 14, the level of protection required is at protection level IV, so the angle of protection used is 55°. Therefore the design of an air termination rod made of copper (Cu) with a cross sectional area of 35 mm² is placed in 1 place. The conducting conductor which is a BC cable made of copper (Cu) has a minimum diameter of 16 mm² and the earthing system to which the resistance value will be installed must not be more than 5 ohm and the cross-sectional area used is at least 50 mm².

Keywords: Lightning protection, protection angle, grounding

Abstrak

Bangunan bertingkat seperti Gedung Pascasarjana Universitas Ichsan Gorontalo memiliki tingkat kemungkinan tersambar petir yang tinggi. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis kebutuhan sistem proteksi sambaran petir berdasarkan standar Peraturan Umum Instalasi Penyaluran Petir (PUIPP) dan International Electrotechnical Commission (IEC) 1024-1-1. Langkah awal yang akan dilakukan adalah melakukan observasi langsung untuk mengetahui luas bangunan, konstruksi, jenis atap dll. Langkah berikutnya adalah menghitung indeks kebutuhan sistem proteksi sambaran petir (R), tingkat proteksi dan Perencanaan sistem proteksi sambaran petir gedung Pasca Sarjana menggunakan metode sudut lindung. Indeks Kebutuhan sistem proteksi pada Gedung Pascasarjana Universitas Ichsan Gorontalo sebesar 14, tingkat proteksi yang diperlukan pada tingkat proteksi IV, sehingga sudut proteksi yang dipakai yaitu 55°. Maka dari itu perancangan batang terminasi udara yang terbuat dari tembaga (Cu) dengan luas penampang 35 mm² yang ditempatkan pada 1 tempat. Konduktor penghantar yang merupakan kabel BC yang terbuat dari tembaga (Cu) berdiameter minimal 16 mm² dan sistem pentanahan yang akan dipasang nilai resistansi tidak boleh lebih dari 5ohm dan luas penampang yang digunakan minimal 50 mm².

Kata kunci: Sistem proteksi, sudut perlindungan, pentanahan

1. Pendahuluan

Bangunan publik seperti halnya kampus Pasca Sarjana Universitas Ichsan Gorontalo tentu saja perlu mempertimbangkan aspek keamanan sarana-prasarana dan pengguna gedung. Jika ditinjau dari keamanan sistem kelistrikan yakni sistem proteksi bangunan terhadap sambaran petir yang mana bangunan perkuliahan program Pasca Sarjana telah dilengkapi dengan sistem penangkal petir. Sistem penangkal petir yang ada pada gedung perkuliahan program Pasca Sarjana UNISAN terdiri dari satu batang penangkap petir, kabel tanah, dan grounding. Namun berdasarkan bentuk gedung dan luasan bangunan, penggunaan satu batang penangkap petir dianggap masih kurang karena belum melingkupi semua area proteksi. Down Konduktor dari ujung finial hanya menjuntai di atas plafon, tidak tersambung sampai ke sistem *grouding*. Terlebih lagi, belum terdapat sistem *grouding* bangunan pada gedung tersebut.

Petir merupakan peristiwa peluahan muatan listrik akibat beda potensial antara awan dan bumi. Indonesia mempunyai jumlah hari guruh yang tinggi setiap tahunnya yakni 200 hari guruh[1]. Hal ini menandakan kerawanan Indonesia terhadap bahaya akibat sambaran petir bagi makhluk hidup dan bangunan. Guna menghindari dampak buruk akibat sambaran petir maka suatu bangunan perlu dilengkapi sistem proteksi sambaran petir[2].

Dalam penentuan perlu tidaknya bangunan terhadap proteksi sambaran petir harus berdasarkan standar yang berlaku seperti PUIPP, IEC 1024-1-1 dan SNI 03-7014 [3]-[5]. Sehingga perlu analisis kebutuhan sistem proteksi sambaran petir pada gedung Pasca Sarjana Universitas Ichsan Gorontalo berdasarkan standar tersebut.

Beda potensial antara awan dengan awan lain atau awan dengan bumi menyebabkan terjadi peluahan muatan listrik dari potensial tinggi ke potensial rendah. Peluahan muatan listrik dari awan ke bumi biasa diistilahkan sambaran[6]. Sambaran petir ini jika mengenai

makhluk hidup secara langsung maka dapat membahayakan kesehatan dan jiwa[7]. Tidak hanya makhluk hidup bangunan yang tidak memiliki sistem proteksi sambaran petir dapat menerima dampak buruk berupa kenaikan tegangan yang dapat merusak peralatan listrik[8]-[10].

Dalam menentukan kebutuhan proteksi sambaran petir merujuk pada standar yang berlaku seperti PUIPP. Perlu tidaknya bangunan terhadap proteksi sambaran petir dapat ditentukan dari nilai indeks kebutuhan proteksi sambaran petir (R). Jika nilai $R \leq 11$ maka bangunan dianggap tidak membutuhkan proteksi petir, $R = 12-13$ maka dianjurkan menggunakan proteksi petir tetapi jika nilai $R \geq 14$ maka sangat perlu menggunakan sistem proteksi petir. Penelitian ini juga menggunakan standar IEC 03-7015-2004 untuk menentukan tingkat proteksi sambaran petir.

Sistem proteksi sambaran petir terdiri dari tiga komponen utama yakni : Finial/air Termination, down konduktor dan sistem grounding. Bagian air tarmination adalah bagian yang berbentuk tombak lancip diujungnya berfungsi untuk menerima sambaran petir. Sambaran petir kemudian akan dialirkan ke grounding melalui down conductor.

Penangkal petir dapat dikategorikan menjadi dua jenis yakni penangkal petir konvensional seperti frangklin rod dan faraday cage. Jenis Franklin rod menggunakan satu tombak logam yang ujungnya runcing. Biasanya penangkal jenis frangklin rod digunakan pada bangunan yang memiliki atap lancip. Jenis faraday cage/sangkar faraday cocok digunakan pada bangunan dengan atap datar. Jenis ini menggunakan lebih dari satu batang penangkal petir dibuat menyerupai sangkar burung[11].

Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa semakin dalam elektroda ditanam maka nilai resistansi pentahannya makin kecil. Jenis tanah dimana elektroda ditancapkan juga mempengaruhi nilai resistansi. Tanah kering memiliki nilai resistansi yang lebih besar

dibandingkan tanah lembab dan tanah basah[12]-[13]. Jumlah elektroda yang dibutuhkan sesuai kebutuhan sehingga resistansi pentanahan memenuhi standar yakni dibawah 5 ohm. Penurunan resistansi pentanahan juga dapat dilakukan dengan penambahan zat adiktif seperti garam, arang, bentonit [14]-[16].

Mengingat pentingnya keamanan dan keselamatan dari gedung, peralatan dan pengguna gedung maka perlu meninjau kembali sistem proteksi petir yang ada di gedung perkuliahan program sarjana Universitas Ichsan Gorontalo apakah sesuai standar Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) dan *International Electrotechnical Commision (IEC)6-1024-1-1*.

2. Metoda Penelitian

Objek Penelitian adalah gedung Pasca Sarjana Universitas Ichsan Gorontalo. Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif. Metode kuantitatif adalah penelitian pemecahan masalah dengan menggunakan angka-angka yang dihitung dari data yang diperoleh.

Adapun data-data yang dibutuhkan pada penelitian ini yaitu:

1. Data hari guruh yang dapat diperoleh dari BMKG Kota Gorontalo
2. Denah bangunan kuliah Program Sarjana UNISAN
3. Data jenis tanah dari lokasi penelitian
4. Data spesifikasi bahan dan jumlah masing-masing komponen proteksi petir yang saat ini terpasang
5. Data sistem grounding yang saat ini terpasang meliputi : nilai resistansi grounding, panjang penanaman rod, diameter rod.

Dari data yang diperoleh maka ditentukan variabel yang akan dihitung/diukur yaitu:

1. Tingkat kebutuhan proteksi petir pada bangunan perkuliahan program Pasca Sarjana Universitas Ichsan Gorontalo.
2. Kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata per tahun,

3. Kerapatan sambaran petir langsung rata-rata per tahun,
4. Area Cakupan Ekuivalen,
5. Efisiensi sistem proteksi petir,
6. Kebutuhan air terminal, down konduktor, grounding.

Tahapan Penelitian

1. Observasi

Observasi ke lokasi penelitian guna melihat langsung kondisi bangunan, tanah, dan komponen proteksi petir.

2. Persiapan alat dan Bahan

Alat dan bahan yang dibutuhkan pada penelitian meliputi :

- 1) Roll Meter/mistar
- 2) Micro meter sekrup
- 3) Earth Tester
- 4) Laptop

3. Perhitungan tingkat kebutuhan proteksi petir pada lokasi penelitian.

Perancangan sistem proteksi sesuai aturan (PUIPP) dan IEC 6-1024-1.

3. Hasil Penelitian

3.1. Data Gedung Pasca Sarjana UNISAN



Gambar 1. Tampak Depan Gedung

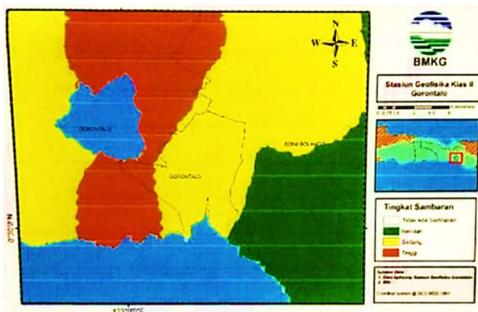
Tabel 1. Data Fisik dan Non Fisik Bangunan

Karakteristik	Ukuran (meter)
Tinggi	17
Panjang	10
Lebar	23
Konstruksi	Beton
Struktur Atap	Datar



Gambar 2. Tampak kiri-kanan gedung

3.2 Data Hari Guruh Kota Gorontalo



Gambar 3. Peta Tingkat Sambaran Petir Tahun 2021 Kota Gorontalo dan Sekitarnya (Sumber: Stasiun Geofisika Klas II Gorontalo)

Tingkat sambaran petir Kota Gorontalo pada tahun 2021 yaitu rata – rata 1010 sambaran, sedangkan berdasarkan data Badan meteorologi, klimatologi dan geofisika Sulawesi Utara pada kisaran tahun 2000-2008, Gorontalo memiliki Isokeraunik Level (IKL) sebesar 48 % [17] atau hari guruh rata – rata pertahun 175,2 [18].

3.2 Indeks Kebutuhan Proteksi Sambaran Petir

Dalam standar PUIPP penentuan kebutuhan system proteksi sambaran petir dilakukan dengan menjumlahkan indeks – indeks yang mewakili Gedung yang akan diproteksi, seperti terlihat pada tabel 2.

Tabel 2.Indeks Kebutuhan Proteksi Sambaran Petir

Indeks Penggunaan	Nilai Indeks
Indeks A Gedung Pascasarjana Universitas Ichsan Gorontalo adalah	2

Gedung kantor dan perkuliahaan yang dimana didalamnya berisi barang yang cukup penting

Indeks B Gedung ini 2

yaitu bangunan beton bertulang rangka besi dan beratap bukan logam

Indeks C Gedung ini 3

memiliki tinggi 17 Meter

Indeks D Gedung 0

Pascasarjana Universitas

Ichsan Gorontalo berdiri

di tanah datar

Indeks E Gorontalo yang 7

hari guruhnya tinggi.

R = A+B+C+D+E 14

Berdasarkan pengolahan data terhadap bahaya sambaran petir, diperoleh nilai indeks R = 14, maka gedung Pascasarjana Universitas Ichsan Gorontalo memiliki perkiraan bahaya sambaran petir besar sehingga sangat perlu memiliki system proteksi petir.

3.3 Kebutuhan Proteksi Sambaran Petir Berdasarkan IEC 1024-1-1

Dalam penentuan tingkat Proteksi Gedung Pascasarjana Universitas Ichsan Gorontalo berdasarkan standar IEC 1024-1-1 [19], menggunakan perhitungan beberapa factor yaitu data struktur Gedung, data hari guruh, area proteksi, kerapatan sambaran petir ke tanah (Ng), Frekuensi sambaran langsung (Nd) dan frekuensi sambaran petir pertahaun (Nc) yang diperboehkan pada objek, nilai kerapatan sambran petir (Ng) sebagai berikut :

$$Ng = 0,04 \cdot 175,2^{1,25} /km^2/tahun$$

$$Ng = 25,50 km^2/tahun$$

Menentukan area cakupan ekivalen bangunan yang menarik sambaran petir (A) sebagai berikut:

$$Ae = (10 \times 23) + 6 \times 17 \times (10 + 23) + 9 \times 3,14 \times (17^2)$$

$$Ae = 11.763,14 m^2$$

Setelah mendapatkan nilai kerapatan sambaran petir (Ng) serta nilai area ekivalen (Ae) selanjutya dapat diperhitungkan nilai jumlah rata – rata frekuensi sambaran petir langsung per tahun (Nd) yakni:

$$Nd = 25,50 \times 11.763,14 \times 10^{-6}$$

$$Nd = 0,30 \text{ /tahun}$$

Dari data yang didapat didaerah setempat diperoleh nilai frekuensi sambaran petir tahunan (Nc) yang diperbolehkan adalah sebesar 10⁻¹/tahun. Dengan demikian nilai Nd tinggi besar dibandingkan dengan nilai Nc (Nd > Nc) sehingga dibutuhkan suatu sistem proteksi petir (SPP)[20].

Maka dari itu nilai efisiensinya (E) dapat diperoleh yaitu,

$$E = 1 - (0,1 / 0,30)$$

$$= 0,67$$

Dari hasil perhitungan nilai efisiensi (E) SPP di Gedung Pascasarjana Universitas Ichsan Gorontalo adalah 0,67 dan nilai tersebut tidak masuk dalam pilihan pada table 2.4 tetapi pada gambar 2.4 terlihat ada pada tingkat proteksi IV, sehingga harus dilengkapi proteksi tambahan yang diatur dalam standar SNI 03-7015-2004.

Dengan menggunakan metode *Whitehead* dimana S besarnya 60 m, merupakan jarak sambar atau jari – jari ruang proteksi. sehingga besar arus sambaran petir (I) adalah menggunakan rumus berikut:

$$S = 8 \times I^{0,65}$$

$$I = 0,65 \sqrt{\frac{S}{8}}$$

$$I = 0,65 \sqrt{\frac{60}{8}}$$

$$I = 0,65 \sqrt{7.5}$$

$$I = 18,6 \text{ kA}$$

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode *whitehead* bahwa besar arus yang dapat diterima oleh penangkap petir yaitu 18,6 kA.

3.4 Perencanaan Metode Sudut Lindung Sistem Proteksi Sambaran Petir Gedung Pascasarjana Universitas Ichsan Gorontalo

Perhitungan jarak sambar petir menggunakan metode elektrogeometri yaitu sebagai berikut:

$$R_s = 8 \times I^{0,65}$$

$$R_s = 8 \times 18,6^{0,65}$$

$$R_s = 53 \text{ meter}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh jarak sambar petir sebesar 54 meter. Perhitungan radius perlindungan (*r*) dari suatu penangkap petir dapat dihitung dengan cara:

$$r = \sqrt{2 \times r_s \times h - h^2}$$

$$r = \sqrt{2 \times 53 \times 17 - 17^2}$$

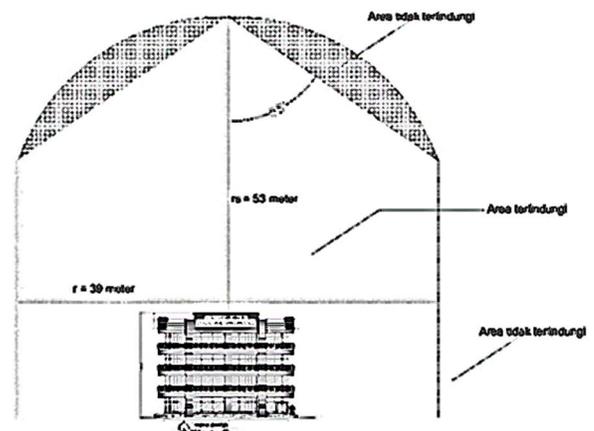
$$r = 39 \text{ meter}$$

Sudut perlindungan yang digunakan berdasarkan tabel 3.

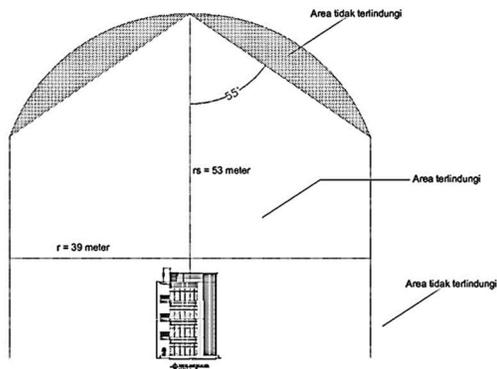
Tabel 3. Perancangan terminasi udara dengan sudut proteksi

Tingkat proteksi	Besarnya sudut terminasi udara (°)			
	Tinggi bangunan			
	20 m	30 m	45 m	60 m
I	25	*	*	*
II	35	25	*	*
III	45	35	*	*
IV	55	45	35	25

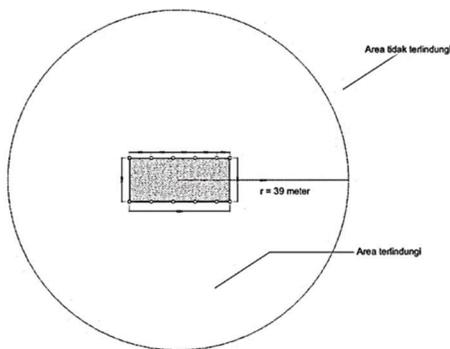
Dari hasil perhitungan dengan metode elektrogeometri diketahui jarak sambaran petir padad Gedung sebesar 53 meter dan radius perlindungan dari penangkal petir yang direncanakan yaitu dengan diameter 39 meter.



Gambar 4. Tampak Depan Perlindungan Sistem Proteksi Sambaran Petir Gedung Pascasarjana Universitas Ichsan Gorontalo



Gambar 5. Tampak Samping Kiri Perlindungan Sistem Proteksi Sambaran Petir Gedung Pascasarjana Universitas Ichsan Gorontalo



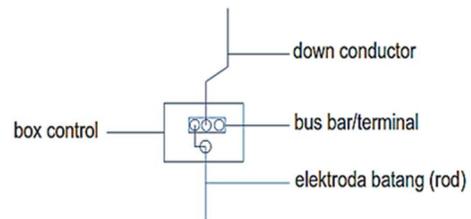
Gambar 6. Tampak Atas Perlindungan Sistem Proteksi Sambaran Petir Gedung Pascasarjana Universitas Ichsan Gorontalo.

Dalam perencanaan instalasi proteksi petir yang dilakukan, tentunya harus memperhatikan kondisi dan fungsi dari bangunan. Gedung Pascasarjana Universitas Ichsan Gorontalo dinilai sangat perlu untuk memiliki sistem proteksi yang mempunyai efektivitas yang mampu melindungi bangunan dari sambaran langsung petir dengan nilai arus yang dapat diterima penangkal petir sekecil mungkin.

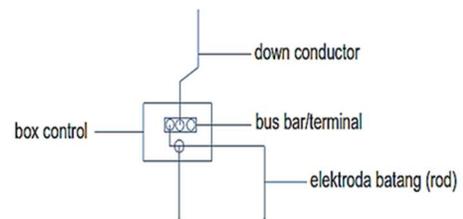
Dari hasil perhitungan serta dilakukan penggambaran terhadap jarak sambar petir, sudut perlindungan dan radius perlindungan dari penangkal petir yang direncanakan dengan metode elektrogeometri dapat dilihat pada Gambar 4.4, Gambar 4.5 dan Gambar 4.6, menggunakan bahan 1 Terminasi udara dengan tinggi 5 meter dari permukaan plat beton dan berbahan tembaga (CU) berukuran

minimal 35 mm^2 untuk dapat melindungi keseluruhan gedung.

Untuk pemasangan *down conductor* (Konduktor Penghantar) sebagai penghantar arus petir dari penangkal petir ke *system grounding* dipasang secara vertical tegak lurus mengikuti bentuk bangunan. Dimensi umum untuk konduktor yang menyalurkan arus sambaran petir apabila mengikuti standar SNI 03-7015-2004, dimensi konduktor dengan bahan Tembaga (Cu) paling tidak memiliki ukuran minimum 16 mm^2 , namun apabila semakin besar ukuran penampangnya maka akan semakin bagus dan mudah arus petir tersalurkan.



Gambar 7. Sistem pentanahan tunggal



Gambar 8. Sistem Pentanahan Ganda

Untuk sistem pentanahan (*grounding system*) atau sistem pentanahan pada instalasi proteksi tegangan lebih petir Gedung Pascasarjana Universitas Ichsan Gorontalo ini dilakukan dengan memperhatikan kondisi tanah yang mempengaruhi nilai resistansi, karena pada sistem pantanahan yang akan dipasang nilai resistansi tidak boleh lebih dari 5 ohm dan luas penampang yang digunakan minimal 50 mm^2 . Untuk itu, ada beberapa cara yang dapat dilakukan dalam teknis pembuatan system pentanahan, yaitu dengan menggunakan metode batang pentanahan tunggal (*single rod*) atau batang pentanahan

ganda (*multiple rod*) yang dipasang secara paralel.

4. Kesimpulan

Berdasarkan data yang didapat, Gedung Pascasarjana Universitas Ichsan Gorontalo berlokasi di daerah datar dan dengan tingkat kerawanan besar yaitu 175,2 hari guruh per tahun, sehingga dengan perhitungan dapat diperoleh frekuensi sambaran petir langsung (Nd) sebesar 0,30 per tahun. Kebutuhan akan sistem proteksi pada Gedung Pascasarjana Universitas Ichsan Gorontalo tergolong besar dan setelah dilakukan perhitungan tingkat proteksi yang diperlukan pada tingkat proteksi IV, sehingga sudut proteksi yang dipakai yaitu 55° . Maka dari itu perancangan batang terminasi udara yang terbuat dari tembaga (Cu) dengan luas penampang 35 mm^2 yang ditempatkan pada 1 tempat. Konduktor penghantar yang merupakan kabel BC yang terbuat dari tembaga (Cu) berdiameter minimal 16 mm^2 dan sistem pantanahan yang akan dipasang nilai resistansi tidak boleh lebih dari 5 ohm (lima Ω) dan luas penampang yang digunakan minimal 50 mm^2 .

5. Saran

Hendaknya pengelola Gedung Pascasarjana Universitas Ichsan Gorontalo memperhitungkan keamanan gedung dari bahaya sambaran petir dengan segera memasang sistem proteksi sambaran petir karena memiliki tingkat kerawanan besar akan sambaran petir dan setelah dipasang sebaiknya dilakukan perawatan dan pengecekan secara berkala agar menjaga kemampuan sistem proteksi petir dalam mengamankan dari bahaya sambaran petir.

6. Daftar Pustaka

- [1] T. Gunawan and L. N. L. Pandiangan, "Analisis Tingkat Kerawanan Bahaya Sambaran Petir Dengan Metode Simple Additive Weighting Di Provinsi Bali," *J. Meteorol. dan Geofis.*, vol. 15, no. 3, 2014, doi: 10.31172/jmg.v15i3.221.
- [2] Septrianesa and Muhammad Abu Bakar Sidik, "Sistem Proteksi Petir Eksternal dan Estimasi Kenaikan Tegangan pada Sistem Pentanahan Stasiun Penyimpanan Avtur Pulau Layang," *J. Rekayasa Elektro Sriwij.*, vol. 2, no. 2, pp. 158–166, 2021, doi: 10.36706/jres.v2i2.31.
- [3] A. Karta, "Analisis Kebutuhan Sistem Proteksi Sambaran Petir Pada Gedung Bertingkat," *J. Tek. Elektro*, vol. 09, no. 03, pp. 773–780, 2020.
- [4] R. Rohani, "Evaluasi Sistem Penangkal Petir Eksternal Di Gedung Rektorat Universitas Negeri Yogyakarta," *J. Edukasi Elektro*, vol. 1, no. 2, pp. 187–195, 2017, doi: 10.21831/jee.v1i2.17423.
- [5] M. Sukmawidjaja, S. Abduh, and S. Nadia, "70422-ID-none," vol. 12, pp. 75–86, 2015.
- [6] W. Meidyani Dp *et al.*, "Jurnal Pendidikan Fisika Mapping the Level of Lightning Strikes in Tabanan Regency," vol. 7, p. 347, 2019.
- [7] T. Gunawa, K.N.Suarbawa. Analisa Tingkat Kerawanan Bahaya Sambaran Petir Dengan Metode SAW di Provinsi Bali," p. 305, 2013.
- [8] M. Ibrahim, E. Ervianto, Firdaus, "Pengaruh Sambaran Petir Terhadap Sstem Proteksi Pada Peralatan Telekomunikasi PT. Telkom Pekanbaru," *JOM Fakultas Teknik*, vol. 2, no. 2, pp. 1–11, 2015.
- [9] M. Lestanto, E. Mulyana, and Y. Simamora Utama, "Lightning Strike Analysis on The Effectiveness of Power Transformer Protection (Case Study of Power Transformer 70/20 kV 30 MVA Majalaya Substation)," *SENTER VI*, pp. 347–356, 2021.
- [10] N. D. Nur, I. G. N. S. Hernanda, and R. Wahyudi, "Pemodelan Perlindungan Gardu Induk dari Sambaran Petir Langsung di PT. PLN (Persero) Gardu Induk 150 kV Ngimbang-Lamongan," *J.*

- Tek. POMITS*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2014.
- [11] K. Biantoro, I. W. Arta Wijaya, and I. G. N. Janardana, “Pemilihan Jenis Penangkal Petir Untuk Mengamankan Area Gedung Beserta Peralatan Pada Perumahan Nusa Dua Highland,” *J. SPEKTRUM*, vol. 7, no. 1, p. 131, 2020, doi: 10.24843/spektrum.2020.v07.i01.p19.
- [12] H. Nawir, M. R. Djalal, and S. Sonong, “Rancang Bangun Sistem Pentanahan Penangkal Petir Pada Tanah Basah dan Tanah Kering pada Laboratorium Teknik Konversi Energi,” *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.)*, vol. 2, no. 2, pp. 1–39, 2018, doi: 10.21070/jeee-u.v2i2.1581.
- [13] Hermansyah, “Evaluasi Keandalan Sistem Grounding pada Instalasi Listrik Rumah Tinggal Di Kabupaten Bantaeng,” *J. Ilm. d’Computare*, vol. 9, pp. 35–39, 2019.
- [14] N. Lembang, S. Manjang, and I. Kitta, “Efek Penurunan Tahanan Pembumian Tower 150 kV Terhadap Sistem Penyaluran Petir,” *J. Penelit. Enj.*, vol. 21, no. 2, pp. 7–15, 2018, doi: 10.25042/jpe.112017.02.
- [15] V. D. Andhika, “Studi Tentang Efektivitas Beberapa Macam Zat Terhadap Nilai Resistansi Sistem Pentanahan (Grounding),” *Tek. Elektro*, vol. 09, no. 03, pp. 501–510, 2020.
- [16] D. Martin, “Pengaruh Pencampuran Gypsum Sebagai Zat Aditif Untuk Penurunan Nilai Resistansi Grounding Pada Elektroda Batang Tunggal,” *Semin. Nas. Tek. Elektro 2018*, vol. ISBN 978-6, pp. 98–102, 2018.
- [17] S. H. J. Tongkukul, “Identifikasi Potensi Kejadian Petir Di Sulawesi Utara,” *J. Ilm. Sains*, vol. 11, no. 1, p. 41, 2011, doi: 10.35799/jis.11.1.2011.39.
- [18] M. M. Bakhtiar, A. Warsito, and A. Syakur, “Perancangan External Lightning Protection Gedung Di Komplek Pltg Gorontalo 100 Mw Dengan Metode Rolling Sphere, Protection Angle, Dan Collecting Volume,” *Transmisi*, vol. 19, no. 3, p. 100, 2017, doi: 10.14710/transmisi.19.3.100-107.
- [19] Global Engineering Documents, *IEC 1024-1-1 Protection of structures against lightning*. 1993.
- [20] Standar Nasional Indonesia SNI 03-7015-2004, “Sistem proteksi petir pada bangunan gedung,” *Sist. Prot. petir pada bangunan gedung ICS*, p. 112, 2004.