
Perencanaan Sistem Proteksi Petir Pada Kawasan Candi Borobudur

Ragil Triyanto¹, Sapto Nisworo², Hery Teguh Setiawan³

^{1,2,3}Universitas Tidar

E-mail: ragiltriyanto43@gmail.com¹, saptonisworo@untidar.ac.id², hery.shirohige@gmail.com³

Article History:

Received: 07 Juli 2022

Revised: 20 Juli 2022

Accepted: 21 Juli 2022

Keywords:

Lightning
Protection, Early Streamer
Emission, Grounding,
Electrode

Abstract: BMKG data for 2020-2021 shows that Magelang Regency has an average of 540,000-720,000 lightning strikes per year. The installation of a lightning protection system aims to avoid, prevent and reduce the danger posed by lightning strikes. The Borobudur Temple area zone 1 and zone 2 is the center of a world tourist destination, namely the UNESCO historical monument of Borobudur Temple with an area that requires lightning protection of 617,200 m². The lightning protection method used in this study is the E.S.E (Early Streamer Emission) lightning protection system. The results obtained in this study are in the form of a radius of protection with an air terminal of the Kurn R-150 brand of 70,650 meters² for each unit of the protection system. It takes 12 units of a lightning protection system to protect all areas of zone 1 and zone 2 that require a protection system. Ground resistance < 5Ω is obtained with one electrode rod 3 meters long for each unit according to the standards of SNI 03-7015-2004, PUIL, and PUIPP. The cost plan ordered for the lightning protection system in the Borobudur Temple area is IDR 302,171,781 with 11% VAT IDR 335,410,677.

PENDAHULUAN

Candi Borobudur adalah monumen bersejarah yang ditetapkan sebagai situs warisan Dunia oleh UNESCO pada tahun 1991 yang terletak di kabupaten Magelang, Jawa Tengah. Kawasan Candi Borobudur termasuk ke dalam tipe iklim tropis. Secara umum, suhu udara rata rata 25,62 dengan kelembaban udara rata-rata 82% dengan curah hujan rata rata adalah 2589 mm/tahun pada kabupaten Magelang. Berdasarkan data dari BMKG 2020-2021 kabupaten Magelang memiliki rata rata sambaran petir sebanyak 540.000-720.000 per tahunnya dan memiliki jumlah hari guruh sebesar 148. Dengan letak dan kondisi geografis Kawasan Candi Borobudur maka sambaran petir menjadi ancaman yang serius bagi bangunan, pohon atau manusia yang sedang berada pada Kawasan Candi Borobudur saat terjadi sambaran petir (Agus, S. 2019).

Amon Shinghasathein, dkk (2019) melakukan penelitian desain dan simulasi proteksi petir eksternal untuk gedung tinggi berdasarkan standar IEC62305. Studi kasus penelitian ini dilakukan pada gedung tertinggi di fakultas sains dan teknologi Rajamangala University of Technology PhraNakhon (RMUTP) Thailand dengan ketinggian 23 meter di mana secara langsung berisiko terkena serangan sambaran petir. Area proteksi petir dievaluasi dengan

menggunakan metode bola bergulir, dengan simulasi 4 level jarak sambaran petir yaitu 20 meter, 30 meter, 45 meter, dan 60 meter berdasarkan standar IEC62305. Penelitian ini menghasilkan desain perencanaan proteksi petir untuk bangunan tinggi dengan metode bola bergulir (Arifin, J. 2021).

Venkatesh Srinivasan, dkk (2020) melakukan penelitian pemodelan dan penilaian bahaya petir untuk manusia pada monumen warisan di India dan Sri Lanka. Lima monumen yang termasuk tiga stupa raksasa yaitu Ruwanwelisaya, Jethawanaramaya dan Abayagiriya dari Sri Lanka dan dua kuil besar yaitu kuil Brihadishvara dan Gangaikonda Cholapuram dari India telah dipilih untuk diteliti. Dengan pemodelan menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*) pada aplikasi *COMSOL Multi-physics*[®] menunjukkan bahwa tingkat keparahan dampak petir pada manusia karena potensi sentuhan mendapatkan nilai arus puncak yang diamati berada di kisaran 280 A hingga 1,45 kA dan meluruh dalam waktu sekitar 12 mikro detik.

Ta'ali, dkk (2021) melakukan analisis sistem pentanahan pada gedung Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. Pengukuran dilakukan menggunakan *earth tester* dengan metode tiga titik memperoleh hasil di gedung teknik elektro dan elektronika menghasilkan 48,3Ω. Sedangkan nilai hambatan *grounding* pada gedung teknik mesin dan teknik otomotif menghasilkan 2,34 Ω serta teknik sipil dengan hasil 2,52 Ω. Kedua gedung tersebut mempunyai nilai hambatan *grounding* sesuai dengan peraturan yang ada. Dapat Diketahui bahwa untuk menghasilkan nilai hambatan ≤ 1 ohm diperlukan kedalaman 12 m pada tanah jenis rawa.

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah diuraikan diatas, diharapkan penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan pada perencanaan, perbaikan dan pemeliharaan terencana sistem proteksi petir di Kawasan Candi Borobudur. Dengan demikian diharapkan dapat meminimalkan ancaman pada bangunan candi Borobudur maupun manusia oleh sambaran petir dan diperoleh hambatan tanah yang sesuai dengan standar pentanahan Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000, Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-7015-2004, dan Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP).

LANDASAN TEORI

Dalam PUIL 2011 menyebutkan beberapa jenis pentanahan, antara lain pentanahan fungsional, pentanahan paralel, dan pentanahan pelindung (PUIPP. 1983). Secara umum sistem pentanahan adalah rangkaian yang dimulai dari tiang pentanahan dan menghubungkan konduktor ke terminal pentanahan, yang dirancang untuk mengirim lebih banyak arus ke tanah untuk melindungi orang dari sengatan listrik (*shock*) dan untuk menghemat bagian instalasi serta untuk menghindari bahaya (Pulungan. 2021).

Sistem proteksi petir

Sistem proteksi petir menyediakan sistem untuk menerima petir, yang dapat menerima petir lebih cepat dari lingkungan sekitarnya, dan dapat memberikan perlindungan yang memadai untuk ukuran petir yang diberikan (Siburian dan Hutagalung. 2019). Saat merancang sistem instalasi proteksi petir, biasanya mengandalkan cakupan proteksi yang dibutuhkan.

1. Menghitung intensitas sambaran petir ke tanah

$$N_g = 4.10^{-2} \times T^{1.26} \dots \dots \dots (1)$$

keterangan:

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

T = jumlah hari guruh

$$N_d = N_g \times A_e \times 10^{-6} \dots \dots \dots (2)$$

keterangan:

Nd = frekuensi sambaran petir langsung (sambaran/tahun)

Ae = luas daerah proteksi

Proteksi petir elektrostatis

Proteksi petir elektrostatis adalah proteksi petir berbasis ESE (*Early Streamer Emission*). Saat sistem berjalan, penangkal petir elektrostatis mengumpulkan energi dari awan saat melewati kawasan lindung, kemudian mengumpulkan petir yang memancarkan api terarah (*streamer*) ke udara, lalu menangkap dan mendistribusikannya ke tanah (SNI 03-7015-2004).

1. Menghitung radius proteksi

$$Y = Y_1 + \frac{(X - X_1)}{X_2 - X_1} (Y_2 - Y_1) \dots \dots \dots (3)$$

keterangan:

X = ketinggian air terminal dari tanah

X1 = nilai bawah diantara tinggi nilai X

X2 = nilai atas diantara tinggi nilai X

Y1 = nilai bawah diantara proteksi yang tertera (d disesuaikan dengan nilai radius proteksi yang didapat dari nilai X1)

Y2 = nilai atas diantara proteksi yang tertera (d disesuaikan dengan nilai radius proteksi yang didapat dari nilai X2)

2. Menghitung sudut proteksi

$$\alpha^\circ = \sin^{-1} \left(1 - \frac{h}{r} \right) \dots \dots \dots (4)$$

keterangan:

α° = sudut proteksi

h = radius proteksi (m)

r = tinggi sistem proteksi petir dari permukaan tanah (m)

Pentanahan

Sistem pentanahan merupakan salah satu aplikasi instalasi yang dirancang untuk meradiasikan arus petir ke tanah adalah untuk meredam arus petir. Tingkat keandalan tanah terletak pada konduktivitas listrik logam sehubungan dengan tanah yang terhubung. Semakin baik tanah menghantarkan benda logam, semakin baik. Pembedaan yang tepat harus memberikan nilai resistansi pembagi maksimum 5 ohm menggunakan pengujian pembedaan (Srinivasan, Fernando, Kumara, Selvaraj, Cooray. 2020)

Tujuan pentanahan

Tujuan pentanahan menurut SNI 03-7015-2004 antara lain:

1. mengurangi tegangan lebih dengan menghubungkan ke bumi supaya dalam batas sesuai standar yang ada;
2. menghindari sengatan sentuh atau sengatan langkah demi keselamatan orang yang berada didekatnya;
3. mempercayai kerja peralatan elektronika;
4. menghubungkan sambaran arus ke dalam tanah;
5. mencegah kerusakan peralatan elektronika; memperkecil terjadinya flashover dan menstabilkan tegangan

Jenis elektroda pentanahan

Pada dasarnya terdapat tiga macam elektroda yang digunakan dalam sistem pentanahan, yaitu :

1. Elektroda batang

Elektroda batang atau rod adalah elektroda tembaga dipasang pada tanah. Elektroda rod adalah yang pertama kali digunakan secara teknis elektroda batang mudah dipasang dilahan sempit dan sering digunakan pada gardu induk dan bangunan perkantoran(Zendra, Suhariyanto, Francisco. 2018).

2. Elektroda pelat

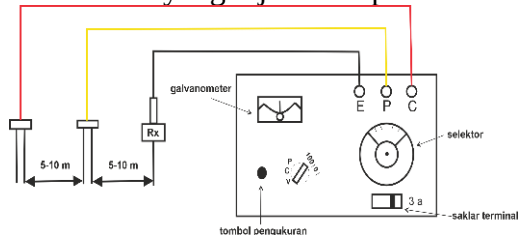
Elektroda pelat adalah elektroda yang dibuat dari lembaran dan *wire mesh*. Dipergunakan pada keadaan susah untuk mendapat besar resistansi yang diperlukan dengan menggunakan macam elektroda yang berbeda.

3. Elektroda pita

Elektroda pita adalah elektroda konduktif yang dibuat dalam bentuk yang menyerupai pita. Pemasangan elektroda pentanahan memiliki kombinasi bentuk melingkar, radial, dan kominasi. Elektroda ditanam pada kedalam kurang lebih sama dengan 1m secara horizontal(SNI 03-7015-2004).

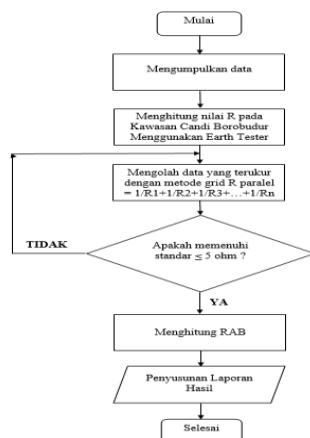
METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilaksanakan dengan sistem pengukuran untuk mengetahui nilai hambatan jenis tanah dan hambatan pentanahan elektroda, studi literatur berdasarkan analisis data-data sekunder yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan menggunakan metode 3 titik, yaitu satu elektroda utama dan dua elektroda bantu yang dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengukuran metode tiga titik

Langkah-langkah dalam perencanaan sistem proteksi petir diperlihatkan pada diagram alir gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir analisis

Pada diagram alir analisis yang dilakukan pada pengukuran ini yaitu dengan melakukan perhitungan sesuai data yang diperoleh setelah melakukan pengukuran hambatan pentanahan, yaitu menghitung hambatan pentanahan pada kondisi tanah di sekitar Kawasan Candi Borobudur, jika nilai hambatan pentanahan yang di ukur lebih besar dari hambatan tanah yang diijinkan yaitu 5 ohm kualitas sistem pentanahan proteksi petir akan buruk, maka diperlukan perbaikan hambatan pentanahan. Kemudian menghitung luas daerah proteksi yang dibutuhkan dengan menggunakan dua metode yaitu metode pentanahan proteksi petir pasif dan metode pentanahan proteksi aktif. Dengan tampilan desain hasil perencaanan 2D sistem proteksi petir menggunakan aplikasi *corel draw*. Penentuan biaya pemasangan proteksi petir berdasarkan standar sistem pentanahan dan standar biaya pemasangan yang akan diperhitungkan pada penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kawasan Candi Borobudur zona 1 dan zona 2 terhadap sambaran petir

Data BMKG menunjukan bahwa kabupaten magelang memiliki hari guruh sebesar 148. Dapat dihitung intensitas sambaran petir ke tanah berdasarkan persamaan 1.

$$Ng = 4.10^{-2} \times T^{1.26}$$

$$Ng = 4.10^{-2} \times 148$$

$$Ng = 20,65 \text{ sambaran/km}^2/\text{tahun}$$

Dari persamaan diatas diperoleh intensitas sambaran petir 20,65 sambaran/km²/tahun. Data luas daerah zona 1 dan zona 2 dari Balai Konsevasi Borobudur menunjukan luas area (Ae) 617.200 m² maka diperhitungkan frekuensi sambaran langsung berdasarkan persamaan 2.

$$Nd = Ng \times Ae \times 10^{-6}$$

$$Nd = 20,65 \times 617.200 \times 10^{-6}$$

$$Nd = 12,74 \text{ sambaran/tahun}$$

Dari persamaan diatas diperoleh frekuensi sambaran petir langsung sebesar 12,74 sambaran /tahun. Berdasarkan SNI 03-7015-2004 tentang sistem proteksi petir pada bangunan atau area, suatu bangunan atau area diperlukan perancangan sistem proteksi petir jika nilai $N_d > N_c$ (N_c bernilai 0,1). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa Kawasan Candi Borobudur membutuhkan sistem proteksi petir.

Radius Proteksi Petir merk KURN

Berikut ini merupakan Tabel 1 spesifikasi *air* terminal KURN-150.

Tabel 1. Spesifikasi *air* terminal KURN-150

KURN Radius Protection (m)		
Protection Level (m)	KURN Type	
	KURN R 85	KURN R 150
3	69	133
10	76	140
20	86	150
30	96	160

Proteksi petir yang terpasang dengan jenis KURN R-150 pada tower memiliki sudut perlindungan 60° sesuai dengan spesifikasi. Tinggi tiang dari tanah yaitu 20 meter, maka diperlukan untuk mengetahui radius proteksi dan sudut proteksi berdasarkan persamaan dibawah ini :

Perhitungan radius proteksi berdasarkan persamaan 3.

$$Y = Y_1 + \frac{(X - X_1)}{X_2 - X_1} (Y_2 - Y_1)$$

$$Y = 150 + \frac{20 - 20}{30 - 20} (160 - 150)$$

$$Y = 150 + \frac{(0)}{10} (10)$$

$$Y = 150 + 0 (10)$$

$$Y = 150 + 0$$

$$Y = 150 \text{ meter}$$

Maka dari persamaan diatas diperoleh radius proteksi petir seluas 150 meter.

Perhitungan sudut proteksi berdasarkan persamaan 4.

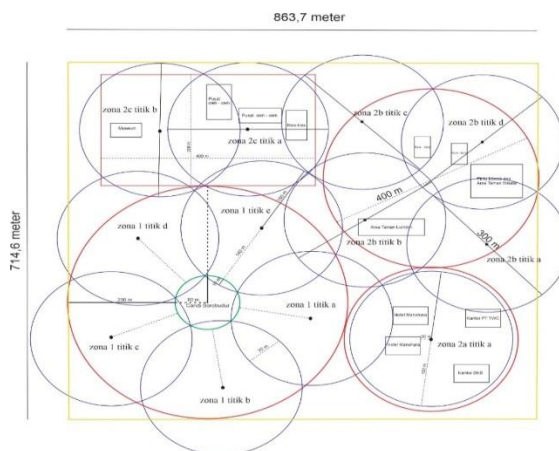
$$\alpha^\circ = \sin^{-1}(1-h/r)$$

$$\alpha^\circ = \sin^{-1}(1-20/150)$$

$$\alpha^\circ = \sin^{-1} 0,8666$$

$$\alpha^\circ = 60^\circ$$

Maka dari persamaan diatas diperoleh sudut proteksi petir sebesar 60° . Hasil dari pengukuran radius proteksi dari tower memperoleh hasil pada gambar 3 di bawah ini :



Gambar 3. Radius sistem proteksi petir pada zona 1 dan zona 2 kawasan candi borobudur

Keterangan :

Zona 1 titik a : Area Candi Borobudur radius 140 meter

Zona 1 titik b : Area Candi Borobudur radius 140 meter

Zona 1 titik c : Area Candi Borobudur radius 140 meter

Zona 1 titik d : Area Candi Borobudur radius 140 meter

Zona 1 titik e : Area Candi Borobudur radius 140 meter

Zona 2a titik a: Area kantor PT TWC dan kantor BKB

Zona 2b titik a: Area Taman Wisata Candi

Zona 2b titik b: Area Taman Lumbini

Zona 2b titik c: Area Taman Wisata Candi

Zona 2b titik d: Area pintu masuk Taman Wisata Candi

Zona 2c titik a: Area kios – kios Taman Wisata Candi

Zona 2c titik b: Area museum Taman Wisata

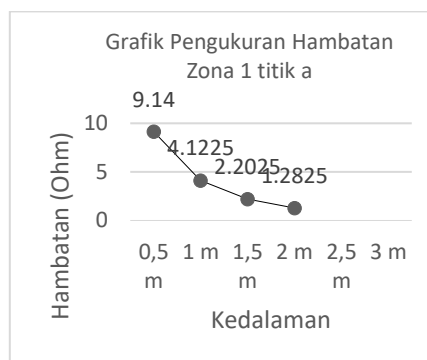
Down Conductor

Down conductor atau kabel penghantar yang digunakan pada sistem proteksi petir di Kawasan Candi Borobudur adalah kabel jenis NYA berdiameter 70 mm². Kabel NYA dengan diameter 70 mm² mempunyai hambatan untuk listrik DC atau sambaran petir sebesar 0,268 ohm/km atau sebesar 0,000269 ohm/m sesuai dengan katalog atau data spesifikasi pada kabel NYA merk sutrado. Untuk mempermudah pemeliharaan atau pengecekan sistem proteksi petir maka akan ditambahkan bak control pada setiap unit proteksi petir yang ada di Kawasan Candi Borobudur.

Data hasil pengukuran

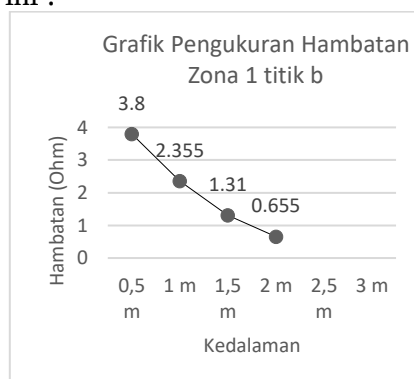
Dalam analisis sistem pentanahan batang elektroda bertujuan untuk mendapatkan nilai hambatan tanah yang sesuai dengan standar maka dilakukan pengukuran hambatan pentanahan pada 12 titik zona 1 dan zona 2 Kawasan Candi Borobudur. Dengan mengukur hambatan pentanahan menggunakan elektroda sendiri maka diperoleh data yang digunakan untuk dilakukannya analisis penggunaan elektroda. Gambar 4 sampai 15 dibawah menunjukkan grafik pengukuran hambatan pentanahan pada Kawasan Candi Borobudur.

Grafik hasil pengukuran hambatan zona 1 titik a area Candi Borobudur radius 140 meter ditunjukkan Gambar 4 dibawah ini :



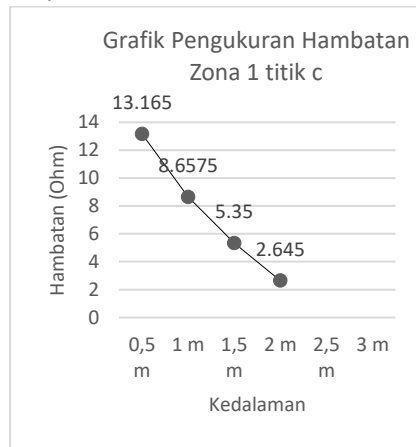
Gambar 4. Grafik hambatan zona 1 titik a

Grafik hasil pengukuran hambatan zona 1 titik b area Candi Borobudur radius 140 meter ditunjukkan Gambar 5 dibawah ini :



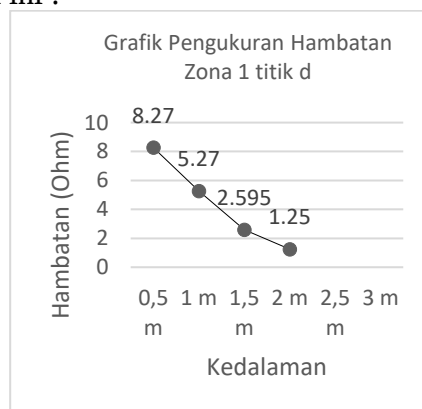
Gambar 5. Grafik hambatan zona 1 titik b

Grafik hasil pengukuran hambatan zona 1 titik c area Candi Borobudur radius 140 meter ditunjukkan Gambar 6 dibawah ini :



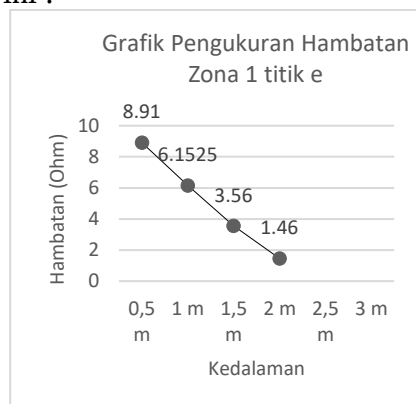
Gambar 6. Grafik hambatan zona 1 titik c

Grafik hasil pengukuran hambatan zona 1 titik d area Candi Borobudur radius 140 meter ditunjukkan Gambar 7 dibawah ini :



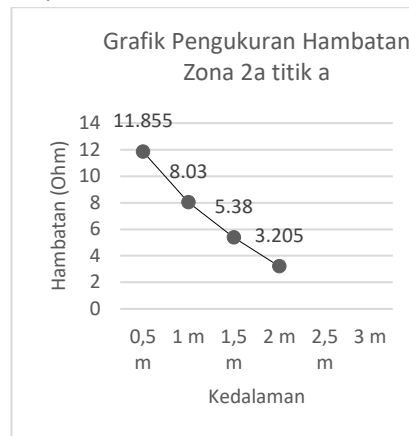
Gambar 7. Grafik hambatan zona 1 titik d

Grafik hasil pengukuran hambatan zona 1 titik e area Candi Borobudur radius 140 meter ditunjukkan Gambar 8 dibawah ini :



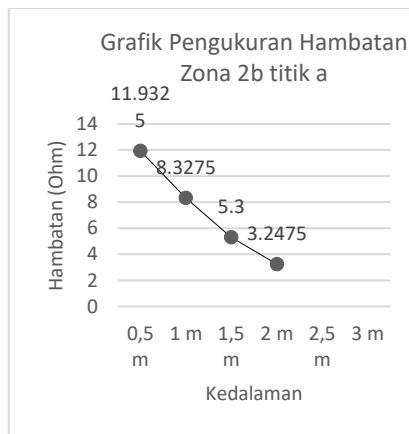
Gambar 8. Grafik hambatan zona 1 titik e

Grafik hasil pengukuran hambatan zona 2a titik a area kantor PT TWC dan kantor BKB ditunjukkan Gambar 9 dibawah ini :



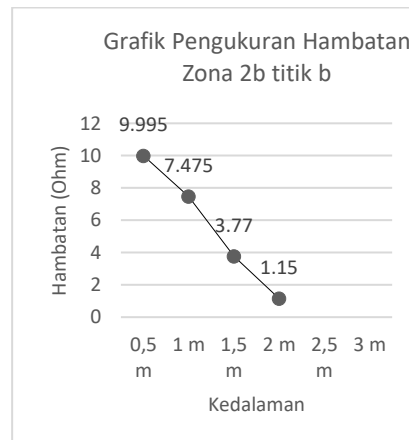
Gambar 9. Grafik hambatan zona 2a titik a

Grafik hasil pengukuran hambatan zona 2b titik a area Taman Wisata Candi ditunjukkan Gambar 10 dibawah ini :



Gambar 10. Grafik hambatan zona 2b titik a

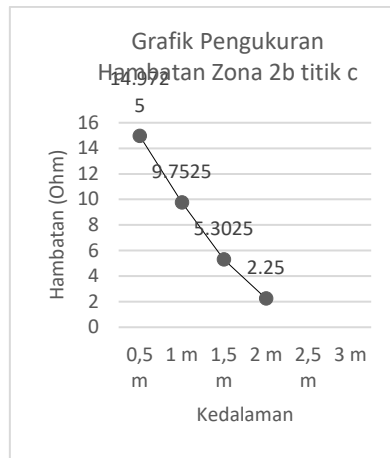
Grafik hasil pengukuran hambatan zona 2b titik b area Taman Lumbini ditunjukkan Gambar 11 dibawah ini :



Gambar 11. Grafik hambatan zona 2b titik b

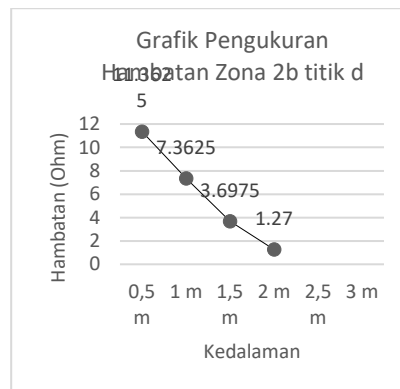
Grafik hasil pengukuran hambatan zona 2b titik c area Taman Wisata Candi ditunjukkan Gambar

12 dibawah ini :



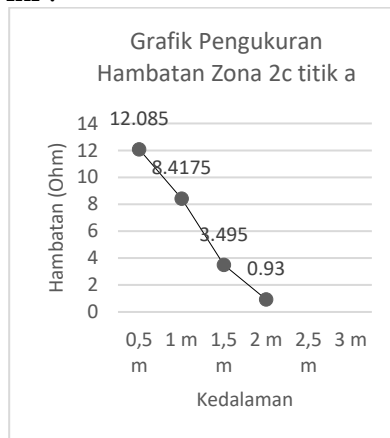
Gambar 12. Grafik hambatan zona 2b titik c

Grafik hasil pengukuran hambatan zona 2b titik d area pintu masuk Taman Wisata Candi ditunjukkan Gambar 13 dibawah ini :



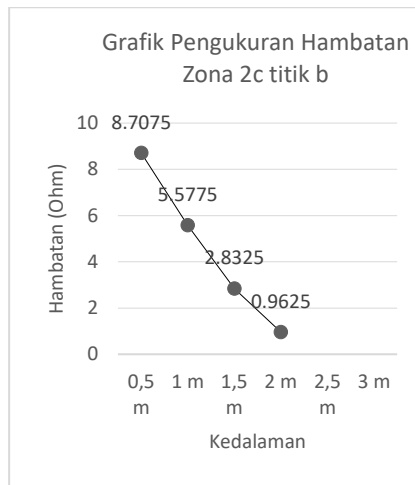
Gambar 13. Grafik hambatan zona 2b titik d

Grafik hasil pengukuran hambatan zona 2c titik a area kios – kios Taman Wisata Candi ditunjukkan Gambar 14 dibawah ini :



Gambar 14. Grafik hambatan zona 2c titik a

Grafik hasil pengukuran hambatan zona 2b titik d area museum Taman Wisata Candi ditunjukkan Gambar 15 dibawah ini :



Gambar 15. Grafik hambatan zona 2c titik b

Hasil pengukuran hambatan dari penelitian dapat direkap menjadi tabel untuk mempermudah penyajian data penelitian. Berikut ini Tabel 2 hasil pengukuran hambatan tanah pada Kawasan candi Borobudur zona 1 dan zona 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran hambatan tanah

Nama titik	Hasil rata-rata pengukuran hambatan Kawasan Candi Borobudur			
	0.5 m	1 m	1.5 m	2 m
Zona 1 titik a	9.14	4.1225	2.2025	1.2825
Zona 1 titik b	3.8	2.355	1.31	0.655
Zona 1 titik c	13.165	8.6575	5.35	2.645
Zona 1 titik d	8.275	5.27	2.595	1.25
Zona 1 titik e	8.91	6.1525	3.56	1.46
Zona 2a titik a	11.855	8.03	5.38	3.205
Zona 2b titik a	11.9325	8.3275	5.3	3.2475
Zona 2b titik b	9.995	7.475	3.77	1.15
Zona 2b titik c	14.9725	9.7525	5.3025	2.25
Zona 2b titik d	11.3625	7.3625	3.6975	1.27
Zona 2c titik a	12.085	8.4175	3.495	0.93
Zona 2c titik b	8.7075	5.5775	2.8325	0.9625

Berdasarkan hasil grafik dan tabel diatas menunjukkan bahwa nilai hambatan tanah pada Kawasan Candi Borobudur berbanding lurus dengan kedalaman dari batang elektroda. Hambatan tanah yang diperoleh sudah sesuai dengan standar PUIL 2000 dan Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP) yaitu < 5 ohm pada kedalaman 2 meter di 12 titik pengukuran. Dengan berdasarkan standar NFPA 780-2020 yaitu ukuran diameter elektroda ke tanah tidak boleh kurang dari $\frac{1}{2}$ inch (12,7 mm) dan kedalaman minimum 10 ft (3 m). Mengacu pada aturan ini ditetapkan panjang elektroda tembaga yang ditanam adalah 3 meter dan berdiameter $\frac{5}{8}$ inch atau 15,875 mm sebanyak 12 elektroda batang yang dibutuhkan pada instalasi proteksi petir pada Kawasan Candi Borobudur zona 1 dan zona 2.

Rencana anggaran biaya (RAB)

Rencana anggaran biaya adalah perhitungan dari seluruh aspek dari perhitungan harga komponen dan upah satuan pekerja. Pada Tabel 3 merupakan rencana anggaran biaya dari sistem proteksi petir pada Kawasan Candi Borobudur zona 1 dan zona 2 dibawah ini:

Tabel 3. Hasil pengukuran hambatan tanah

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
A.1	Pekerjaan Pentanahan				
a.	Galian tanah 1m3 biasa sedalam 2 meter	m3	12	Rp60.093,92	Rp721.127,04
b.	Pekerjaan urug kembali galian m3	m3	12	Rp29.436,14	Rp353.233,68
c.	Pemasangan batang elektroda 3m	unit	12	Rp835.400,11	Rp10.024.801,3
d.	Galian tanah biasa m3 40x40x40	m3	12	Rp8.920,03	Rp107.040,36
e.	Pembuatan bak kontrol m3 40x40x40	unit	12	Rp196.944,36	Rp2.363.332,32
f.	Pemasangan 1 unit penutup bak kontrol berbahan besi	unit	12	Rp29.080,03	Rp348.960,36
g.	Pemasangan 1m instalasi kabel NYA 70mm pada bak kontrol proteksi petir	m	300	Rp133.679,07	Rp40.103.721
	Total				Rp54.022.216,1
A.2	Pekerjaan proteksi petir				
a.	Pemasangan tower monopole 20 meter	unit	12	Rp18.614.272,9	Rp223.371.275
b.	Pemasangan air terminal kurn-150	unit	12	Rp2.064.880,37	Rp24.778.564,4
	Total				Rp248.149.564,4
	Harga Total				Rp302.171.781

Berdasarkan Tabel 3 rencana anggaran biaya (RAB) dalam pemasangan instalasi sistem proteksi petir pada Kawasan Candi Borobudur zona 1 dan zona 2 biaya yang dibutuhkan senilai Rp.302.171.781 dengan PPN 11% menjadi Rp.335.410.677.

Pembahasan

Perencanaan yang dilakukan dalam penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem proteksi petir pada zona 1 dan zona 2 Kawasan Candi Borobudur yang sesuai dengan standar Peraturan Umum Instalasi Penyalur petir. Proteksi petir ini dirancang untuk melindungi seluruh area zona 1 dan zona 2 saat terjadi sambaran petir. Perencanaan proteksi petir pada Kawasan Candi Borobudur menggunakan metode elektrostatis (non konvensional). Proteksi petir elektrostatis yang terpasang dalam perencanaan ini yaitu bermerk KURN dengan jenis R-150.

Proteksi petir ini memiliki tinggi 20 meter dengan menghasilkan radius proteksi radius 150 meter setiap tiang instalasi proteksi petir. Dengan radius proteksi sebesar 150 meter, luas proteksi yang dihasilkan seluas 70.650 meter² untuk setiap satu unit sistem proteksi. Luas area zona 1 dan zona 2 Kawasan Candi Borobudur yang membutuhkan sistem proteksi sebesar 617.200 meter², maka dibutuhkan 12 sistem proteksi petir dengan menghasilkan luas proteksi sebesar 874.800 meter². Dengan 12 tower sistem proteksi sudah mencukupi untuk perlindungan daerah zona 1 dan zona 2 Kawasan Candi Borobudur.

Pemilihan kabel down conductor yaitu NYA 70mm² sesuai dengan minimal ukuran kabel pada proteksi petir non konvensional dengan merk KURN tipe R-150. Dengan ukuran kabel tersebut sudah memenuhi standar dari PUIL 2011 dengan rekomendasi minimal menggunakan kabel 50mm². Pemasangan elektroda batang pentanahan dengan kedalaman 2 meter menghasilkan nilai rata – rata kurang dari 5Ω.

Nilai hambatan pentanahan dari satu batang elektroda dengan panjang 2 meter sudah memenuhi standar PUIL 2000, Namun berdasarkan standar NFPA 780-2020 yaitu ukuran diameter elektroda ke tanah tidak boleh kurang dari ½ inch (12,7 mm) dan kedalaman minimum 10 ft (3 m). Mengacu pada aturan ini ditetapkan panjang elektroda tembaga yang ditanam adalah 3 meter dan berdiameter 5/8 inch atau 15,875 mm sebanyak 12 elektroda batang yang dibutuhkan pada instalasi proteksi petir pada Kawasan Candi Borobudur zona 1 dan zona 2.

KESIMPULAN

Kawasan Candi Borobudur merupakan destinasi wisata dunia yang terletak pada dataran tinggi dengan mempunyai jumlah sambaran petir yang sangat tinggi setiap tahun, oleh karena itu Kawasan Candi Borobudur zona 1 dan zona 2 membutuhkan sistem proteksi petir agar dapat melindungi seluruh bangunan dan isinya. Metode proteksi petir yang dipilih adalah proteksi petir E.S.E (Early Streamer Emission). Sistem proteksi petir kurn R-150 mampu melindungi seluruh area zona 1 dan zona 2 Kawasan Candi Borobudur yang membutuhkan proteksi petir dengan radius proteksi sebesar 150 meter dan sudut perlindungan sebesar 60°. Sistem proteksi petir kurn R-150 yang terpasang sejumlah 12 unit.

Rekomendasi sistem pentanahan PUIL 2000 yaitu $< 5\Omega$, agar tercapai nilai pentanahan yang dianjurkan maka dilakukan penanaman 1 elektroda batang dengan panjang 3 meter yang menghasilkan nilai hambatan pentanahan $< 5\Omega$ untuk tiap unit sistem proteksi petir. Rencana anggaran biaya pada rancangan sistem proteksi petir pada Kawasan Candi Borobudur senilai Rp. 302.171.781 dengan PPN 11% menjadi Rp.335.410.677.

DAFTAR REFERENSI

- Agus, S. 2019. *Pentanahan untuk Perlindungan Peralatan dan Bangunan Gedung*. Majalah Ilmiah Suara Patra.
- Arifin, J. 2021. *Pengukuran Nilai Grounding Terbaik Pada Kondisi Tanah Berbeda*. Institut Teknologi Telkom. Purwokerto.
- National Fire Protection Association. 2020. *NFPA reports guide to fire and NFPA to all about fire*.
- Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL). 2011. Badan Standardisasi Nasional.
- PUIPP. 1983. *Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) Untuk Bangunan Indonesia*. Direktorat penyelidikan masalah bangunan.
- Pulungan. 2021. *Analisis Sistem Grounding di Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang*. Universitas Negeri Padang. Padang.
- Siburian dan Hutagalung. 2019. *Studi Sistem Penangkal Petir Pada Menara Lampu Penerangan Parkir Bandara Kualanamu*. Universitas Darma Agung. Medan.
- SNI 03-7015-2004. *Sistem Proteksi Petir Pada Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional.
- Srinivasan, Fernando, Kumara, Selvaraj, Cooray. 2020. *Modeling and Assessment of Lightning Hazards to Humans in Heritage Monuments in India and Sri Lanka*. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). doi:10.1109/ACCESS.2020.3046100.
- Zendra, Suhariyanto, Francisco. 2018. *Evaluation of Implementation of External Lightning Protection System: Case Study on the Military Radar Tower*. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). doi:10.1109/ICITISEE.2018.8721025.