

PERENCANAAN SISTEM PENYALUR PETIR ELEKTROSTATIS DENGAN METODE SANGKAR FARADAY PADA GEDUNG KEUANGAN NEGARA KUPANG

Agusthinus S. Sampeallo¹⁾, Evtaleny R. Mauboy²⁾, Yeremias M. Moron³⁾

^{1, 2, 3)} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana Kupang-NTT, Telp. (0380) 881557, HP.081339442255

¹Email: agussampeallo65@gmail.com,

²Email: evtalenymauboy@staf.undana.ac.id

³Email: lamorenzjimmy@gmail.com

Info Artikel

Histori Artikel:
Diterima Sep 13, 2020
Direvisi Sep 14, 2020
Disetujui Sep 22, 2020

ABSTRACT

Gedung Keuangan Negara (GKN) of Kupang is the office for the affairs of the state finance and assets. The Franklin type lightning in the State Finance Building is not functioned properly and the value of resistance is quite large plus the number of thunder days in Kupang city reaches 80 thunder days and 128,504 lightning strikes in 2019 according to data from the Kampung Baru Kupang Geophysical Station.

The results of primary and secondary data collection according to Indonesian National standards (SNI 03-7015-2004) Gedung Keuangan Negara must be protected from lightning induction because the value of the annual average frequency of direct lightning strikes (N_d) > the allowed local annual lightning strike frequency (N_c). Electrostatic protection is selected for the electrostatic type with a Flash Vectron FV6 type with a radius of 50 to 150 combined with a Faraday cage of 8 finials and funneled through a Bare Cooper conductor 50 mm² to grounding system planted in the ground with a rod type electrode diameter of 12 millimeters in length. The electrodes planted varied, namely 0.5 meters, 1 meter and 1.5 meters. The value of grounding resistance $R < 5 \Omega$ is in accordance with the PUIL 2011 standard. The value of earthing resistance $R_{average}$ $L_{(0,5 m)} = 171,6 \Omega$, $L_{(1.0 m)} = 128,6 \Omega$ and $L_{(1,5 m)} = 73,4 \Omega$. To fulfill the requirements according to the PUIL standard, the number of rods in $L_{(0,5 m)}$ must be added with the value of $R_{paralel} = 3,7065 \Omega$ for 100 electrode rods, for $L_{(1 m)}$ with a value of $R_{paralel} = 3,9682 \Omega$ for 70 electrode rods, and for $L_{(1,5 m)} = 3,1708 \Omega$ for 50 electrode rods.

Keywords : *Lightning Strike, Faraday Cage, Ground Resistance*

ABSTRAK

Gedung Keuangan Negara (GKN) Kupang merupakan kantor urusan bidang keuangan dan kekayaan Negara. Penyalur petir tipe Franklin yang ada pada Gedung Keuangan Negara sudah tidak berfungsi dengan baik sehingga nilai tahanan pentanahan cukup besar di tambah besarnya hari guruh kota kupang mencapai 80 hari guruh dan 128.504 kali sambaran petir 2019 sesuai data dari Stasiun Geofisika Kampung Baru Kupang.

Hasil pengumpulan data primer dan sekunder sesuai standar Nasional Indonesia (SNI 03-7015-2004) Gedung Keuangan Negara wajib dilindungi dari induksi petir karena nilai frekuensi rata-rata tahunan sambaran petir langsung (N_d) > frekuensi sambaran petir tahunan setempat (N_c) yang

diperbolehkan. Proteksi petir dipilih jenis elektrostatik dengan tipe Flash Vectron FV6 radius 50 sampai 150 meter dikombinasikan dengan Sangkar Faraday berjumlah 8 finial dan disalurkan melalui konduktor Bare Cooper 50 [mm] ² ke sistem pembedaan yang ditanam di dalam tanah dengan diameter elektroda jenis batang berdiameter 12 milimeter dengan panjang elektroda yang ditanam bervariasi yakni 0,5 meter, 1 meter dan 1,5 meter. Nilai tahanan pentanahan $R < 5 \Omega$ sesuai dengan standar PUIL 2011. Nilai tahanan pentanahan $R_{(rata-rata)}$ $L_{(0,5 m)} = 171,6 \Omega$, $L_{(1.0 m)} = 128,6 \Omega$ dan $L_{(1,5 m)} = 73,4 \Omega$. Untuk memenuhi syarat sesuai dengan standar PUIL, maka harus ditambah jumlah rod pada $L_{(0,5 m)}$ dengan nilai $R_{Paralel} = 3,7065 \Omega$ sebanyak 100 elektroda rod, untuk $L_{(1 m)}$ dengan nilai $R_{Paralel} = 3,9682 \Omega$ sebanyak 70 elektroda rod, dan untuk $L_{(1,5 m)}$ dengan nilai $R_{Paralel} = 3,1708 \Omega$ sebanyak 50 elektroda rod.

Kata Kunci : Penyalur petir, Sangkar Faraday, Tahanan Pentanahan

Penulis Korespondensi:

Agusthinus S. Sampeallo,

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknik,

Universitas Nusa Cendana,

Jl. Adisucipto Penfui - Kupang.

Email: agussampeallo65@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan berkembangnya zaman dan semakin sempitnya area tanah yang dapat digunakan, maka pembangunan gedung di wilayah Indonesia mengalami kendala pada perluasan bangunan yang mengakibatkan pembangunan gedung-gedung baru lebih cenderung bertingkat sebagai solusi menghadapi permasalahan tersebut. Dengan semakin banyak berdirinya bangunan bertingkat, beberapa permasalahan mengenai keamanan bangunan perlu diperhatikan. Bangunan bertingkat lebih rawan mengalami gangguan baik gangguan secara mekanik maupun gangguan alam. Salah satu gangguan alam yang sering terjadi adalah sambaran petir. Kerusakan yang ditimbulkan akibat sambaran petir dapat membahayakan manusia beserta peralatan yang berada di dalam gedung tersebut [1], [2].

Gedung Keuangan Negara (GKN) terletak di Jalan El-Tari II Walikota Kupang memiliki halaman parkir 555 m², taman 200 m² dan mempunyai 7 buah lantai. Dalam bangunan terdapat peralatan-peralatan elektronik seperti komputer, televisi, air conditioner (AC), Pesawat Telepon, Closed Circuit television (CCTV), lift, faksimili, sound system, dan peralatan elektronik lainnya. Gedung dan peralatan tersebut tentunya perlu dilindungi dari kemungkinan gangguan-gangguan yang terjadi, salah satunya perlindungan terhadap sambaran petir.

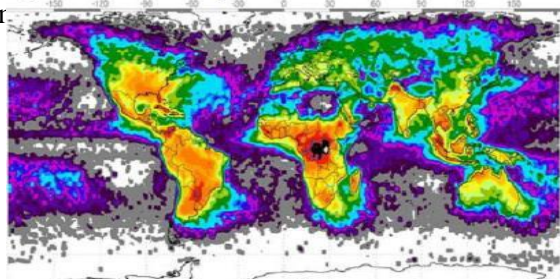
Berdasarkan data yang diperoleh (wawancara) dengan teknisi Gedung Keuangan Negara, penyalur petir konvensional Tipe *Franklin* sudah terpasang, namun pada tahun 2012 terjadi sambaran petir yang membuat peralatan mengalami kerusakan dan beberapa penyalur petir *Franklin* tersebut mengalami pembengkokan akibat sambaran petir. Penyalur petir *Franklin* mempunyai daerah perlindungan terbatas, serta cenderung merusak estetika struktur bangunan dan radius hanya 2 meter atau 45 derajat [3]. Kekurangan penangkal petir tipe *Franklin* adalah tidak mampu pada daerah yang memiliki frekuensi sambaran petir yang tinggi, tidak mampu melindungi peralatan elektronik pada bangunan akibat medan magnet yang ditimbulkan oleh petir dan jangkauan tipe ini sangat terbatas. Dengan mempertimbangkan keterbatasan penyalur petir *Franklin* tersebut, maka akan direncanakan penggunaan sistem penyalur petir elektrostatik yang menggunakan dua unit *air terminal* serta area perlindungan lebih luas antara 50 meter sampai 150 meter dengan menggunakan metode Sangkar *Faraday*. Sangkar *Faraday* dipilih untuk mengatasi kelemahan *Franklin* karena adanya daerah yang tidak terlindungi dan daerah perlindungan melemah bila jarak makin jauh dari *Franklin Rod*-nya. Sangkar *Faraday* mempunyai sistem pemasangannya di seluruh permukaan atap yang luas. Metode Sangkar *Faraday* ini mempunyai banyak terminal udara atau finial menjulang ke atas langit dan digabungkan

dengan kawat tembaga menjadi satu kesatuan saling berhubungan pada jalur diatas sampai ke bawah sehingga membentuk sangkar berjala - jala yang tidak melebihi 30-meter dan pada tiap - tiap pertemuannya terdapat terminal udara (*finial*).

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan pada tanggal 27 November 2019, Gedung Keuangan Negara memiliki nilai tahanan pentanahan 205 Ω, 204 Ω, 198,6 Ω dan 44,4 Ω. Nilai ini tidak sesuai dengan standar PUIL, maka direncanakan sistem pentanahan yang baik yang nilai resistansi pentanahan total seluruh sistem < 5 Ω tujuannya agar bila terjadi arus gangguan, dapat mengalir kedalam tanah secara cepat dan dalam jumlah yang besar [3]. Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka diajukan penelitian dengan judul **“Perencanaan Sistem Penyalur Petir Elektrostatis Dengan Metode Sangkar Faraday (Studi Kasus Gedung Keuangan Negara Kupang)”**.

2. Petir

Petir merupakan gejala alam yang biasanya muncul pada musim hujan dimana di langit muncul kilatan cahaya sesaat yang menyilaukan dan beberapa saat kemudian disusul oleh suara yang menggelegar. Sambaran petir terjadi dalam dua tahap yaitu perpindahan elektron dari awan ke bur



Gambar 1. Peta Distribusi Petir di Dunia
Sumber : [4]

Daerah hitam di Afrika Tengah adalah tempat terjadinya petir dengan intensitas tertinggi di dunia, daerah yang berwarna merah, oranye dan kuning adalah daerah dengan intensitas petir tertinggi kedua. Sedangkan daerah yang berwarna biru adalah daerah dengan intensitas petir rendah. Dari gambar Indonesia termasuk dalam kategori daerah dengan intensitas petir tinggi [4], [5].

2.1 Penyalur Petir Elektrostatis Flash Vectron
Penyalur petir *Flash Vectron* merupakan penyalurpetir elektrostatis berbasis kerja *Early*

Streamer Emission (ESE) yang di desain khusus untuk daerah tropis mampu memberikan solusi petir khususnya di Indonesia. Penyalur petir elektrostatis *Flash Vectron* bersifat aktif dalam menjemput petir dan menetralkan ke tanah tanpa radioaktif, radius proteksi maksimum hingga 150 meter dan terkecil 50 meter. *Flash Vectron* dapat menggunakan jenis kabel *Bare Cooper (BC)*. Perawatan dan pemasangan sangat mudah karena hanya menggunakan satu head terminal dan tidak mengganggu estetika. Selain sudah melewati uji laboratorium PT. PLN (Persero) dan Laboratorium Tegangan Tinggi *Hamburg Laboratory Inc (HLI)* dan *Germany Electrotechnical Commission (GEC)*, Penyalur petir *Flash Vectron* telah di uji langsung di lapangan yang rawan akan sambaran petir dan bahan serta material pilihan sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) dan *International Electrotechnical Commission (IEC)*



Gambar 2. Penyalur Petir Flash Vectron
Sumber : [6]

Adapun penjelasan Perangkat Penyalur petir elektrostatis *Flash Vectron FV6*

1. *Main Rod* merupakan batang utama berbentuk runcing terbuat dari logam yang berfungsi sebagai penerima sambaran petir langsung, *Main Rod* ini memiliki kemampuan untuk menerima sambaran petir hingga 300 KA.
2. Elektrodaperangkat ini memainkan peran yang sangat penting sebagai bilah pemicu untuk mengumpulkan cadangan energi awan dari luar, dan energi tersebut di dimanfaatkan untuk membangkitkan *Early Streamer Emission Conductor*. Bilah pemicu ini aktif bekerja dengan dua sistem, pertama-tama menerima dan mengumpulkan energi awan dengan menggunakan sistem induksi serta sensor, sedangkan

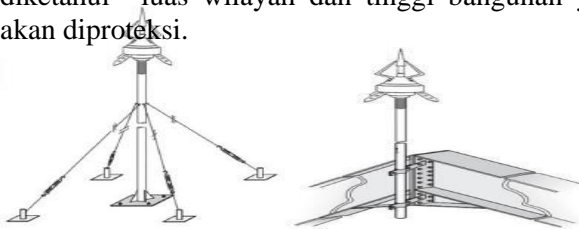
yang kedua menggunakan karbon inti mengumpulkan energi awan dari induksi awan tersebut.

3. Ion Generator terdiri dari unit kapasitor, ion pembangkit, sensor petir. Ion Generator adalah perangkat kunci penyalur petir *Flash Vectron*.

4. *Wing Disseminator* bagian ini adalah konduktor di sisi atas untuk menembak ion ke udara.

2.2 Penempatan dan Tinggi Tiang Penyalur Petir.

Penempatan dan tinggi tiang penangkal petir yang akan dipasang haruslah mencakup bagian bangunan-bangunan yang dilindungi sesuai dengan jarak perlindungan. Maka harus diketahui luas wilayah dan tinggi bangunan yang akan diproteksi.



Gambar 3. Konstruksi instalasi penyalur petir Flash Vectron FV6 pada dak beton dan kuda-kuda

Sumber : Flash [6]

2.3 Konduktor Penyalur

Konduktor penyalur adalah bagian dari sistem proteksi eksternal yang dimaksudkan untuk melewati arus petir dari sistem terminasi udara ke sistem pembumian.



Gambar 4. Kabel Bare Cooper dan E.F Carrier (konduktor penyalur)

Sumber : [7]

Untuk perhitungan diameter atau luasan penampang konduktor yang akan digunakan pada penyalur petir, dapat dihitung menggunakan rumus:

$$A_0 = I_0 \times \sqrt{\frac{(8.5 \times 10^{-6}) \times S}{\log_{10} \left(\frac{T}{274} + 1 \right)}} \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana :

A_0 = Luas penampang penghantar
 S = Lamanya waktu sambaran petir

I_0 = Arus puncak petir
 T = Temperatur konduktor

2.4 Elektroda Batang

Elektroda batang adalah elektroda dari baja pipa, baja profil, atau batang logam lain yang dipancangkan ke dalam tanah. Elektroda ini merupakan elektroda yang pertama kali digunakan dan teori-teori berawal dari elektroda jenis ini. Elektroda ini banyak digunakan di gardu induk-gardu induk. Secara teknis, elektroda batang ini mudah pemasangannya, yaitu tinggal memancangkannya ke dalam tanah. Di samping itu, elektroda ini tidak memerlukan lahan yang luas.



Gambar 5. Elektroda Batang

Rumus tahanan pentanahan untuk elektroda batang tunggal yang ditanam secara vertikal (Suyamto, dkk, 2015):

$$R_{xtunggal} = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots(2.7)$$

batang banyak (*multiple rod*) menggunakan rumus :

$$R_{xparalel} = \frac{\rho}{n} \left[\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right] \times F \dots\dots\dots(2.8)$$

Sedangkan perhitungan besarnya nilai tahanan pentanahan yang ditanam secara horisontal menggunakan rumus :

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} \right) \dots\dots\dots(2.9)$$

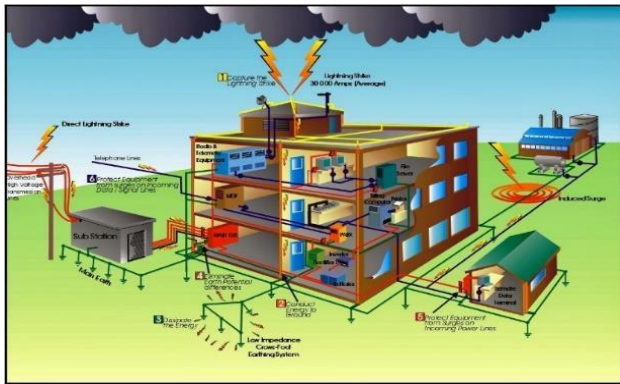
dimana :

- R : Tahanan pentanahan batang tunggal (Ω).
- $R_{xparalel}$: Tahanan pentanahan batang banyak (Ω).
- ρ : Tahanan jenis tanah (Ω -m).
- L : Panjang batang elektroda (m).
- a : Jari-jari batang elektroda (m).
- n : Jumlah elektroda batang.
- F : Faktor perkalian (tabel 1)

4105 A Palu, Meter, Kalkulator dan Elektroda Batang.

2.5 Metode Sangkar Faraday

Sistem yang dikembangkan Faraday bahwa kabel penghantar berada pada sisi luar bangunan dengan pertimbangan bahwa kabel penghantar juga berfungsi sebagai material penerima sambaran petir, yaitu sangkar elektrik seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Metode Sangkar Faraday
Sumber : [8]

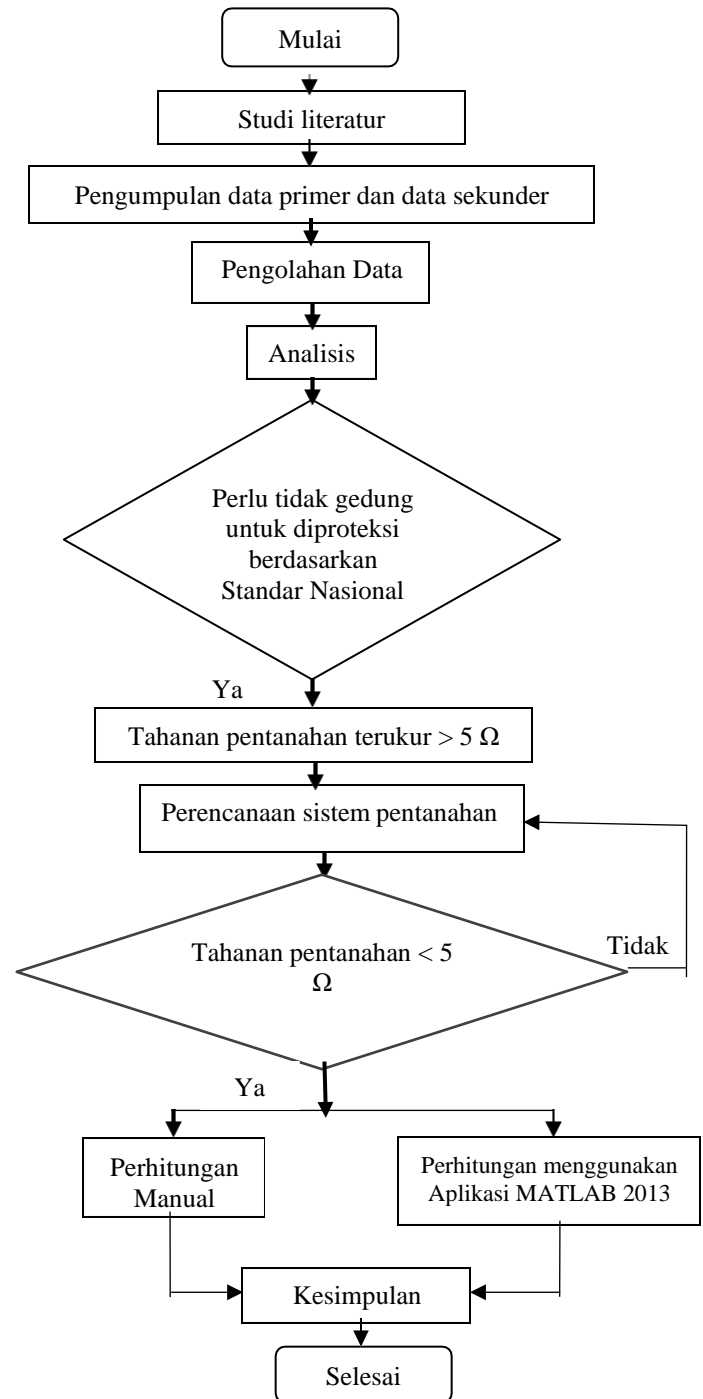
Metode ini digunakan untuk keperluan permukaan atap yang panjang dan lebar karena bisa dilindungi seluruh permukaan bangunan. Sistem Faraday ini bekerja dengan cara mengamankan bagian dalam sangkar dari pengaruh lompatan muatan listrik saat terjadi sambaran petir dan langsung meneruskannya ke dalam tanah. Ketika terjadi lompatan muatan, medan listrik di dalam bagian sangkar petir tidak terpengaruh, karena hanya bagian permukaan sangkar saja yang terpengaruh. Saat ini aplikasi penyalur petir Faraday juga dikombinasikan menggunakan head atau air terminal dari radius penyalur petir elektrostatik. Penyalur petir konvensional sistem Faraday ini sampai sekarang masih digunakan. Biasanya, sistem penyalur petir Faraday ini untuk melindungi ruangan tempat menyimpan peralatan elektronik seperti komputer.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Gedung Keuangan Negara Kupang. Waktu penelitian selama 6 bulan terhitung sejak Maret 2020 sampai Agustus 2020. penyelesaian pada penelitian ini dilakukan dengan bantuan alat dan bahan seperti Laptop Acer Windows 10 Prosesor Intel(R)Core i3, Software matlab 2013, Digital Earth Tester Kyoritsu Model

2.1 Diagram alir Penelitian

diagram alir dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

2.2 Jenis dan Sumber Data

Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini diperoleh dari data primer/ data yang diperoleh langsung di lapangan yakni data panjang, lebar dan tinggi gedung keuangan negara, data tahanan pentanahan pada gedung keuangan negara dan data sekunder/data historis yang didapatkan dari Kantor Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yakni Data hari guruh pertahun dan Data Sambaran Petir Pertahun.

2.3 Langkah-Langkah Penelitian

- Mempersiapkan alat ukur dan bahan.
- Rangkaikan alat ukur pembumian.
- Mengecek tegangan baterai dengan menghidupkan *digital earth resistance tester KYORITSU Model 4105 A*. Jika layar bersih tanpa simbol baterai lemah berarti kondisi dalam keadaan baik, jika layar menunjukkan simbol baterai lemah atau bahkan layar dalam keadaan gelap berarti baterai perlu diganti.
- Membuat rangkaian pengujian dengan menjepit elektroda utama yang diuji dan menanamkan elektroda bantu.
- Menanamkan elektroda bantu dengan memukul kepala elektroda menggunakan martil/palu, jika menjumpai lapisan tanah yang keras sebaiknya jangan memaksakan menanamkan elektroda.
- Menentukan jarak elektroda bantu minimal 5 meter dan maksimal 10 meter.
- Mengecek penghubungan dan penjepitan pada elektroda utama dan elektroda bantu dengan mensetting "PRESS TO TEST" jika tahanan elektroda utama terlalu tinggi atau menunjukkan symbol "... " yang berkedip-kedip yang perlu dicek penghubung atau penjepit pada elektroda utama.
- Melakukan pengukuran. Mensetting *range switch* ke posisi yang diinginkan dan tekan simbol "PRESS TO TEST" Selama beberapa detik.
- Mencatat nilai ukur tahanan yang muncul dari *digital earth resistance tester*.
- Mengembalikan posisi tombol "PRESS TO TEST" ke posisi awal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gambaran Umum Gedung Keuangan Negara

Gedung Keuangan Negara Kupang Pertama kali dibentuk pada tahun 1990 hingga sekarang, Kantor wilayah (Kanwil) XXII Direktorat Jenderal (Ditjen) Perbendaharaan Kupang berlokasi di Gedung Keuangan Negara (GKN) Jl. Eltari II Walikota Baru - Kupang. Fungsi Gedung Keuangan Negara (GKN) sebagai perwakilan Kementerian Keuangan dalam memberikan pelayanan masyarakat serta penyelenggaraan urusan bidang keuangan dan kekayaan negara di daerah. Saat ini selain Kanwil XXII Ditjen Perbendaharaan Kupang, GKN juga ditempati oleh instansi lainnya di lingkungan Departemen Keuangan. Lantai 2 ditempati Kantor Pelayanan Perbendaharaan Negara (KPPN) Kupang, Lantai 3 ditempati oleh Kantor Wilayah (Kanwil) XXII Direktorat Jenderal Perbendaharaan Negara (DJPBN) Kupang, lantai 4 ditempati Kantor Pelayanan Pengurusan Piutang dan Lelang Negara (KP2LN) Kupang dan lantai 5 ditempati Oleh Kantor Pelayanan Pajak (KPP) Pratama Atambua. Saat ini Kantor Wilayah XXII Ditjen Perbendaharaan Kupang membawahi 6 (enam) Kantor Pelayanan Perbendaharaan Negara (KPPN) yang tersebar di beberapa Kabupaten/Kota dalam wilayah Propinsi Nusa Tenggara Timur, yaitu: KPPN Kupang, KPPN Atambua, KPPN Larantuka, KPPN Waingapu, KPPN Ende, KPPN Ruteng.

3.2 Data dan Hasil Pengukuran

3.2.1 Data Luas Gedung Keuangan Negara Kupang

Data luas wilayah digunakan untuk menentukan penempatan penyalur petir elektrostatis dengan metode sangkar faraday pada Gedung Keuangan Negara diketahui panjang 66 meter lebar 27,60 meter dan tinggi 31 meter.

Penggunaan bangunan pada Gedung Keuangan Negara Kupang sebagai kantor urusan bidang keuangan dan kekayaan Negara. Isi bangunan adalah peralatan-peralatan elektronik seperti komputer, *air conditioner* (AC), Pesawat Telepon, *sound system*, *Closed Circuit television* (CCTV), lift, faksimili.

3.2.2 Data Hari Guruh dan Sambaran Petir yang diperbolehkan Pertahun

Penentuan kebutuhan bangunan akan diproteksi petir berdasarkan Standar Nasional Indonesia [9] yaitu dengan menggunakan data hari guruh yang didata oleh petugas stasiun Meteorologi Kelas II El Tari Kupang seperti pada lampiran. Data

hari guruh kota kupang perbulan selama satu (1) tahun terakhir yakni tahun 2019 sebanyak 80 hari guruh/tahun, data sambaran petir kota Kupang pada tahun 2019 yakni 108.504 dan frekuensi sambaran petir yang diperbolehkan pada bangunan (N_c) yakni 10^{-1} /Tahun. Angka 10^{-1} ini ditetapkan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG).

3.3 Pengolahan Data

3.3.1 Perhitungan Proteksi Petir Gedung Keuangan Negara Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 03-7015-2004)

1. Untuk menghitung kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan (N_g) adalah :

$$N_g = 0,04 \times T_d^{1,25} / \text{km}^2 / \text{Tahun}$$

$$N_g = 0,04 \times 80^{1,25}$$

$$N_g = 9,5702 / \text{km}^2 / \text{Tahun}$$

2. Area cakupan ekivalen untuk Gedung Keuangan Negara yang mempunyai panjang (a) 66 meter, lebar (b) 27,60 meter dan tinggi (h) 31 meter dapat dihitung sebagai berikut :

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

$$A_e = (66 \times 27,60) + 6 \times 31(66 + 27,60) + 9 \times 3,14 \times (31)^2$$

$$A_e = 46.389,06 \text{ m}^2$$

3. Frekuensi sambaran petir langsung (N_d) ke

bangunan dapat menggunakan persamaan 2.3 sebagai berikut :

$$N_d = N_g \times A_e \times 10^{-6} / \text{Tahun}$$

$$N_d = 9,5702 \times 46.389,06 \times 10^{-6}$$

$$N_d = 4,43 / \text{Tahun}$$

Dari hasil wawancara dengan pegawai Stasiun Geofisika Kelas I Kampung Baru Kecamatan Oebobo Kupang diperoleh nilai frekuensi sambaran petir tahunan setempat (N_c) yang diperbolehkan adalah 10^{-1} /Tahun. Karena diketahui nilai $N_d = 4,43/\text{tahun}$ sedangkan nilai $N_c = 10^{-1}/\text{Tahun}$ atau 0,1 maka disimpulkan $N_d > N_c$ maka diperlukan sistem proteksi petir pada Gedung Keuangan Negara.

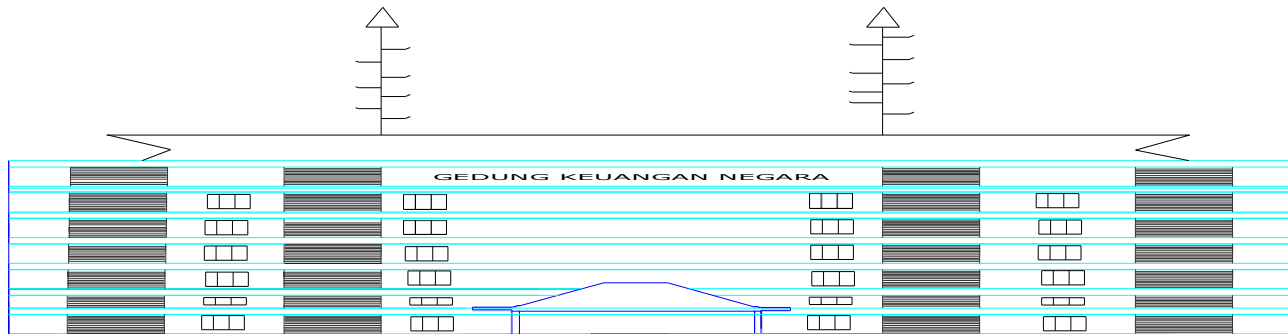
4. Perhitungan Titik Tengah dan Tinggi Tiang Penyalur Petir Flash Vectron FV6

$$M = \left(\frac{x_1+x_2}{3}, \frac{y_1+y_2}{3} \right)$$

$$M = \left(\frac{0+66}{3}, \frac{0+27,60}{3} \right)$$

$$M = (22 ; 9,2)$$

Pemasangan tiang penyangga untuk penyalur petir elektrostatik *Flash Vectron FV6* dipasang pada titik tengah dengan tinggi 4 meter sesuai buku panduan penyalur petir elektrostatik.



Gambar 8. Penempatan Penyalur petir flash vectron dari tampak depan

3.3.2 Perhitungan Diameter Konduktor Penyalur

diketahui :

- $I_0 = 5 \text{ KA} - 220 \text{ KA}$ (diambil nilai paling besar untuk keamanan 220 KA)
- $S = 0,01 \text{ detik}$
- $T = 1000^\circ\text{C}$

$$A_0 = I_0 \times \sqrt{\frac{(8.5 \times 10^{-6}) \times S}{\log_{10} \left(\frac{T}{274} + 1 \right)}}$$

$$A_0 = (220 \times 10^3) \times \sqrt{\frac{(8.5 \times 10^{-6}) \times (0,01)}{\log_{10} \left(\frac{1000}{274} + 1 \right)}}$$

$$A_0 = 29,744 \text{ mm}^2$$

Karena hasil perhitungan didapatkan lebih kecil, dan luas penampang kabel diperoleh dari perhitungan tidak ada, maka dapat digunakan kawat atau kabel dengan luas penampang yang mendekati hasil perhitungan dan tidak diizinkan lebih kecil dari hasil perhitungan. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia yang berlaku, maka luas penampang penghantar yang cocok untuk penyalur petir pada Gedung Keuangan Negara (GKN) Kupang ini adalah 50 mm².

3.3.3 Perhitungan Tahanan Pentanahan Gedung Keuangan Negara Kupang

1. Penanaman Elektroda Batang Secara Vertikal dengan kedalaman 0,5 meter

Perhitungan nilai tahanan jenis tanah pada Gedung Keuangan Negara dengan menggunakan metode tiga titik (*three point metode*)

$$\text{Jadi, } \rho = \frac{2\pi LR}{\left(\ln \frac{4L}{a} - 1\right)}$$

$$\rho = \frac{2 \times 3,14 \times 0,5 \times 171,6}{\left(\ln \frac{4 \times 0,5}{6 \times 10^{-3}} - 1\right)}$$

$$\rho = 112,0425 \text{ } (\Omega\text{-m})$$

- a. Perhitungan nilai tahanan pentanahan menggunakan elektroda batang tunggal pada Gedung Keuangan Negara

$$\text{Jadi, } R_{xtunggal} = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right]$$

$$R_{xtunggal} = \frac{112,0425}{(2 \times 3,14) \times 0,5} \left[\ln \left(\frac{4 \times 0,5}{6 \times 10^{-3}} \right) - 1 \right]$$

$$R_{xtunggal} = 171,6 \text{ } \Omega$$

Dikarenakan tahanan pentanahan yang dihasilkan elektroda batang tunggal tidak mencapai ohm standar yakni 5 ohm, maka sebaiknya elektroda batang dikombinasikan batang banyak (*multiple rod*).

- b. Perhitungan elektroda Batang Banyak kedalaman 0,5 meter pada Gedung Keuangan Negara

$$\text{Jadi, } R_{xparallel} = \frac{\frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right]}{n} \times F$$

$$R_{xparallel} = \frac{\frac{112,0425}{(2 \times 3,14) \times 0,5} \left[\ln \left(\frac{4 \times 0,5}{6 \times 10^{-3}} \right) - 1 \right]}{100} \times 2,16$$

$$R_{xparallel} = 3,7065 \text{ } \Omega$$

Nilai yang didapat memenuhi standar dalam sistem pentanahan karena $R_{xparallel} < 5 \text{ } \Omega$. Jika untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan yang memenuhi syarat, harus ditambah menjadi 100 *rod* yang dipasang secara parallel.

2. Penanaman Elektroda Batang Secara Vertikal dengan kedalaman 1 meter

Perhitungan nilai tahanan jenis tanah pada Gedung Keuangan Negara dengan menggunakan metode tiga titik (*three point metode*)

$$\text{Jadi, } \rho = \frac{2\pi LR}{\left(\ln \frac{4L}{a} - 1\right)}$$

$$\rho = \frac{2 \times 3,14 \times 1 \times 128,6}{\left(\ln \frac{4 \times 1}{6 \times 10^{-3}} - 1\right)}$$

$$\rho = 146,7791 \text{ } (\Omega\text{-m})$$

Jadi tahanan jenis tanah adalah 146,7791 (Ω-m)

- a. Perhitungan nilai tahanan pentanahan menggunakan elektroda batang tunggal pada Gedung Keuangan Negara

$$\text{Jadi, } R_{xtunggal} = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right]$$

$$R_{xtunggal} = \frac{146,7791}{(2 \times 3,14) \times 1} \left[\ln \left(\frac{4 \times 1}{6 \times 10^{-3}} \right) - 1 \right]$$

$$R_{xtunggal} = 128,6 \text{ } \Omega$$

Dikarenakan tahanan pentanahan yang dihasilkan elektroda batang tunggal tidak mencapai ohm standar yakni 5 ohm, maka sebaiknya elektroda batang dikombinasikan batang banyak (*multiple rod*).

- b. Perhitungan elektroda batang banyak dengan kedalaman 1 meter

$$\text{Jadi, } R_{xparallel} = \frac{\frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right]}{n} \times F$$

$$R_{xparallel} = \frac{\frac{146,7791}{(2 \times 3,14) \times 1} \left[\ln \left(\frac{4 \times 1}{6 \times 10^{-3}} \right) - 1 \right]}{70} \times 2,16$$

$$R_{xparallel} = 3,9682 \text{ } \Omega$$

3. Penanaman Elektroda Batang Secara Vertikal dengan kedalaman 1,5 meter

diketahui :

$$\text{Jadi, } \rho = \frac{2\pi LR}{(\ln \frac{4L}{a} - 1)}$$

$$\rho = \frac{2 \times 3,14 \times 1,5 \times 73,4 \Omega}{(\ln \frac{4 \times 1,5}{6 \times 10^{-3}} - 1)}$$

$$\rho = 117,0373 (\Omega\text{-m})$$

Jadi tahanan jenis tanah adalah 117,0373 (Ω-m)

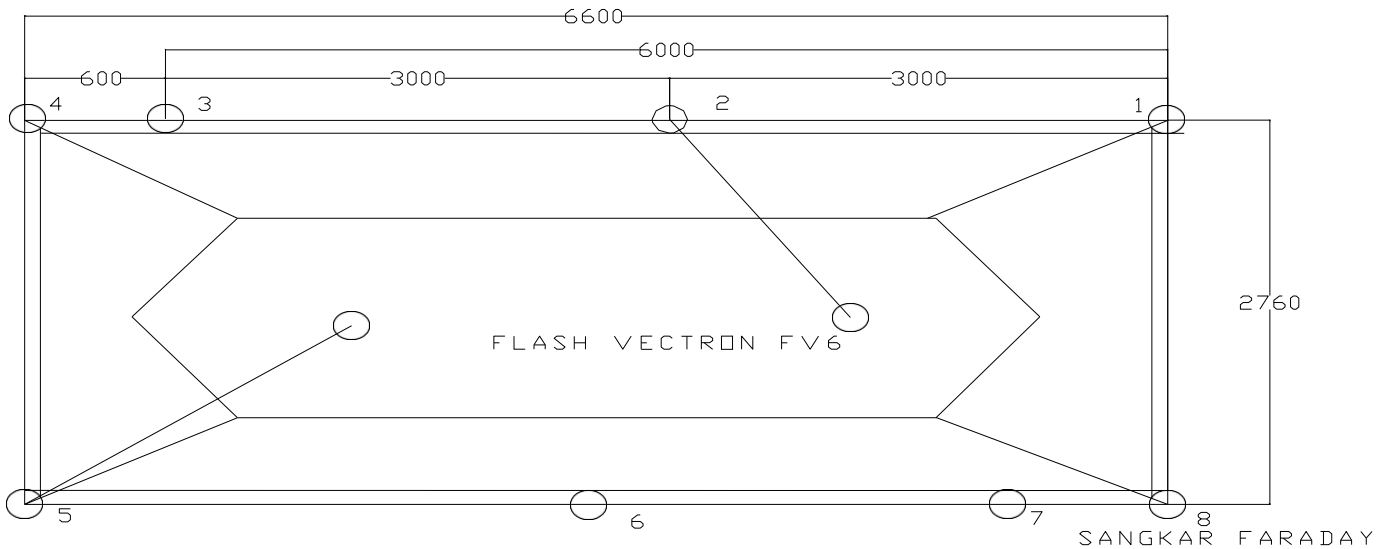
a. Perhitungan elektroda batang tunggal dengan kedalaman 1,5

$$\begin{aligned} \text{Jadi, } R_{xtunggal} &= \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right] \\ R_{xtunggal} &= \frac{117,0373}{(2 \times 3,14) \times 1,5} \left[\ln \left(\frac{4 \times 1,5}{6 \times 10^{-3}} \right) - 1 \right] \\ R_{xtunggal} &= 73,4 \Omega \end{aligned}$$

Dikarenakan tahanan pentanahan yang dihasilkan elektroda batang tunggal tidak mencapai ohm standar yakni 5 ohm, maka sebaiknya elektroda batang dikombinasikan batang banyak (*multiple rod*).

a. Perhitungan elektroda batang banyak dengan kedalaman 1,5 meter

$$\begin{aligned} \text{Jadi, } R_{xparallel} &= \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right] \times F \\ R_{xparallel} &= \frac{117,0373}{(2 \times 3,14) \times 1,5} \frac{\left[\ln \left(\frac{4 \times 1,5}{6 \times 10^{-3}} \right) - 1 \right]}{50} \times 2,16 \\ R_{xparallel} &= 3,1708 \Omega \end{aligned}$$



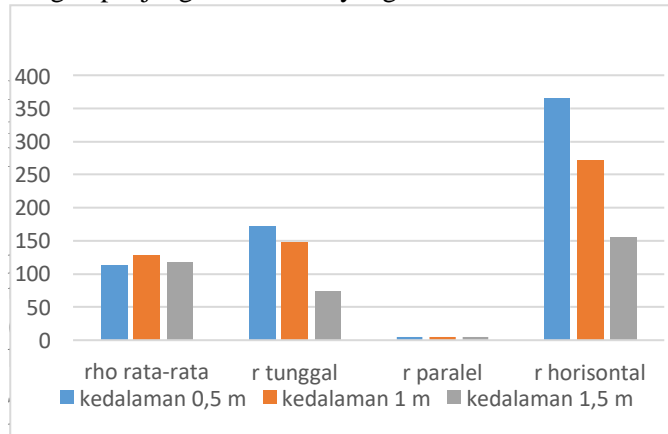
Gambar 9. Penempatan Penyalur Petir Elektrostatis dan Sangkar Faraday

Dari hasil analisis perencanaan penyalur petir Elektrostatis *Flash Vectron FV6* dikombinasikan dengan Sangkar Faraday akan disalurkan melalui *down conductor* jenis *Bare Cooper* (BC) menuju ke system pembumian untuk mengamankan arus dan tegangan petir. Pemasangan tiang penyangga untuk penyalur petir elektrostatis *Flash Vectron FV6* dipasang pada titik tengah dengan tinggi 4 m sesuai buku panduan penyalur petir elektrostatis. Untuk mendapatkan perlindungan maksimal, maka dipasang *finial* sebagai terminasi udara tambahan yang dipasang pada garis bubungan atap dikelilingi konduktor yang saling terhubung sehingga membentuk tipe Sangkar Faraday. Untuk *finial* Sangkar Faraday yang akan dipasang pada Gedung Keuangan Negara berjumlah delapan (8) *finial*, empat

(4) pada depan gedung dan empat (4) lainnya di belakang gedung dengan jarak tiap *finial* adalah 30 meter sesuai standar yang berlaku. Hasil yang didapatkan dari perhitungan diameter konduktor penyalur adalah 29,7 mm², maka dipilih diameter yang mendekati hasil perhitungan yaitu 35 mm² dengan pertimbangan kabel ini cukup mampu menahan induksi petir. Konduktor penyalur ke bawah merupakan konduktor yang menyalurkan arus petir yang diterima oleh terminasi udara untuk disalurkan menuju bumi mengingat arus petir sangat besar, maka konduktor penyalur dalam perencanaan ini lebih dari satu agar arus petir tersebut dapat terbagi-bagi. Dari nilai penentuan kebutuhan proteksi petir berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 03-

7015-2004) yaitu dengan menggunakan data hari guruh di Kota Kupang yang diperoleh dari Stasiun Meteorologi Kelas II El Tari Kupang yakni jumlah hari guruh mencapai 80 (dapat dilihat pada lampiran), kerapatan sambaran petir ke tanah (N_g) yakni 9,5702/km/tahun, ukuran Gedung Keuangan Negara dengan panjang 66 meter, lebar gedung 27,60 meter dan tinggi 31 meter, mempunyai area cakupan ekivalen sebesar 46.389,06 m² dan frekuensi sambaran langsung setempat (N_d) yakni 4,43/Tahun dan data dari Stasiun Geofisika Kelas I Kampung Baru Kecamatan Oebobo menyatakan sambaran petir yang terjadi di Kota Kupang pada tahun 2019 sebanyak 108.504 sedangkan frekuensi sambaran tahunan (N_c) yang ditetapkan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika yakni 10⁻¹ untuk tiap satu tahun pada struktur yang akan diproteksi. Setelah dianalisis, didapatkan nilai $N_d > N_c$, karena itu berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 03-7015-2004) Gedung Keuangan Negara layak diproteksi penyalur petir.

Jenis elektroda yang dipakai dalam penelitian ini adalah batang tembaga dengan diameter 12 mm dengan panjang elektroda yang ditanam kedalam



seperti pada matlab karena matlab memiliki kemampuan penghitungan, visualisasi, dan pemrograman dalam suatu lingkungan yang mudah untuk digunakan karena permasalahan dan pemecahannya dinyatakan dalam notasi matematika. Nilai tahanan jenis tanah dan nilai tahanan pentanahan menggunakan perhitungan manual dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 1. Hasil Perhitungan secara manual nilai tahanan pentanahan pada Gedung Keuangan Negara dengan menggunakan elektroda batang tunggal (*single rod*) dan batang banyak (*multiple rod*)

tanah (L) dengan kedalaman yang berbeda yakni 0,5 meter, 1 meter dan 1,5 meter. Dari data pengukuran untuk pentanahan elektroda batang dengan kedalaman 0,5 meter diperoleh tahanan jenis tanah 112,0425 Ω-m dan nilai tahanan pantanahan berkisar 163 - 178 Ω. Untuk memenuhi syarat $R < 5 \Omega$ harus ditambah jumlah *rod* terpasang 100 agar $R = 3,70 \Omega$. Untuk elektroda batang yang ditanam dengan kedalaman 1 meter diperoleh tahanan jenis tanah 146,7791 Ω-m dan nilai tahanan pantanahan berkisar 124 - 134 Ω. Untuk memenuhi syarat $R < 5 \Omega$ harus ditambah jumlah *rod* terpasang 70 agar $R = 3,96 \Omega$. Untuk elektroda batang yang ditanam dengan kedalaman 1,5 meter diperoleh tahanan jenis tanah 117,0373 Ω-m dan nilai tahanan pantanahan berkisar 71,6 - 74,2 Ω. Untuk memenuhi syarat $R < 5 \Omega$ harus ditambah jumlah *rod* terpasang 50 agar $R = 3,17 \Omega$. Setelah didapatkan hasil perhitungan manual, hasil ini dibandingkan dengan perhitungan menggunakan aplikasi MATLAB 2013a.

Kedalaman elektroda batang	0,5 meter	1 meter	1,5 meter
$R_{rata-rata} > 5 \Omega (\Omega)$	171,6	128,6	73,4
$\rho (\Omega\text{-m})$	112,0425	146,7791	117,0373
$R_{tunggal} (\Omega)$	171,6	128,6	73,4
$R_{paralel} (\Omega)$	3,7065	3,9682	3,1708
$R_{Horisontal} (\Omega)$	365,1009	271,5478	154,4246
Jumlah batang paralel	100	70	50

4. KESIMPULAN

1. Dalam perencanaan penyalur petir elektrostatis dengan metode Sangkar Faraday pada Gedung Keuangan Negara dipasang 2 penyalur petir Elektrostatis Flash Vecron FV6 dengan 8 finial Sangkar Faraday sebagai air terminal dengan jarak tiap 30 meter yang

- disalurkan melalui konduktor penyalur ke sistem pembumian.
2. Nilai tahanan pentanahan dengan kedalaman 0,5 meter diperoleh $R = 178 \Omega$ untuk memenuhi syarat $R < 5 \Omega$ harus ditambah 100 *rod* terpasang sehingga nilai $R = 3,7065 \Omega$. Kedalaman 1 meter diperoleh nilai tahanan tertinggi yakni $R = 134 \Omega$ untuk memenuhi syarat $R < 5 \Omega$ harus ditambah 70 *rod* terpasang sehingga nilai $R = 3,9682 \Omega$. Nilai tahanan pentanahan terendah yakni $R = 71,6 \Omega$ dengan kedalaman elektroda batang 1,5 meter. Untuk memenuhi syarat $R < 5 \Omega$ harus ditambah jumlah *rod* terpasang 50 sehingga nilai $R = 3,1708 \Omega$
 3. Penyalur petir elektrostatik dengan metode Sangkar Faraday diandalkan dalam menyalurkan petir menuju sistem pentanahan dikarenakan ketika arus dan tegangan petir bisa terbagi menjadi beberapa kabel konduktor yang disalurkan ke dalam sistem pembumian.

- [9] "Penjelasan sangkar Faraday," *Data Centric Techonlogy*, 2016.
- [10] "Standar Nasional Indonesia (SNI 03-7015-2004) 'Sistem Proteksi Petir Pada Bangunan'," Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gue Leonardo Jordan, "Perencanaan sistem penyalur petir Laboratorium Riset Terpadu Lahan Kering Undana," Universitas Nusa Cendana, Tugas Akhir, 2017.
- [2] Dermawan Arif, Juningtyastuti, and Syakur Abdul, "Analisis Perbandingan Nilai Tahanan Pentanahan Yang Ditanam Di Tanah Dan Di Septictank Pada Perumahan," *Jurnal Teknik Elektro, Universitas Diponegoro*, 2014.
- [3] Gilbert Fernando Lasut, "Perencanaan Sistem Penangkal Petir Pada Laboratorium Sistem Tenaga Dan Bengkel Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado," POLITEKNIK NEGERI MANADO, Tugas Akhir.
- [4] *Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL)*. Jakarta, 2011.
- [5] B. Sepannur, "Sistem Proteksi Petir Internal Dan Ekternal," *Jurnal Teknik Eletro Institut Teknologi Padang*, vol. 3, no. 1, 2014.
- [6] Suyamto, Taufik, and Kudus Abdul Idrus, "Evaluasi Dan Perencanaan Grounding Untuk Penangkal Petir Gedung Siklotron," *Jurnal Pusat Sains dan Teknologi Akselerator*, 2015.
- [7] "Instalation Manual Book Flash Vectron™ Lightning Protection System," *Flash Vectron Indonesia*, 2009.
- [8] Hutagol Akbar Soli, "Studi Tentang Sistem Penangkal Petir Pada BTS (Base Transceiver Station)(Aplikasi Pada PT. Telkomsel-Banda Aceh)," Universitas Sumatra Utara, Tugas Akhir, 2019.