

Assesment Grounding Eksisting Gedung Unit 1- 2 - 3 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Kamojang

Nur Al Anshari Munir^a, Sandi Budi Kurniawan^b, Rahmat Febrianto Wijanarko^c, Munir Fasihu^d, Andre Dika Pratama^e

^{a,b,c,d,e}Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN Jakarta, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received 1 April 2025

Received in revised form

17 April 2025

Accepted 27 May 2025

Available online 11 June 2025

Keywords:

Assesment Grounding

Resistivity

Protection

ABSTRACT

This study discusses the Grounding Assessment activities carried out on Buildings Unit 1, 2, and 3 of the Kamojang Geothermal Power Plant. The Grounding Assessment was carried out with the aim of evaluating the grounding system whether it was sufficient or needed improvement, evaluating the grounding system to improve system reliability, providing recommendations regarding additional protection steps and improving the design. The Grounding Assessment activity was carried out in several stages including conducting a field survey, measuring soil resistivity, processing and interpreting field data, determining the location of the investigation, the geological conditions of Kamojang, evaluating external building protection, and evaluating the results of the internal panel protection survey. From the overall measurement results, it was stated that an increase was needed because the soil resistance value had a value below 5 ohms. This value after further validation had surprising results at several points. Improvements must be made immediately in the Power House area and the lightning protection pole area of the workshop area. System improvements must also be made, namely by clearly dividing the lightning protection grounding system, equipment grounding system, and instrumentation grounding system.

1 Pendahuluan

PLTP Kamojang menggunakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan tenaga panas bumi yang berupa uap. Pembangkit akan menghasilkan listrik dari putaran turbin generator yang digerakkan oleh energi panas bumi baik berupa uap maupun *brine water*. Uap panas bumi di PLTP didapat dari sumur panas bumi yang dieksplorasi hingga kedalaman tertentu dan uapnya dialirkan ke lokasi pembangkit. Tenaga panas bumi ini semakin berharga karena menjadi merupakan salah satu sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) dan ramah lingkungan. Di PLTP Kamojang, uap tersebut diperoleh dari sumur-sumur produksi yang dibuat oleh Pertamina. Keunggulan PLTP Kamojang adalah kualitas uap yang dihasilkan oleh sumur-sumurnya. Uap yang dikeluarkan sangat kering (*very dry*) dengan kelembaban yang sangat rendah sehingga uap dapat langsung masuk ke turbin tanpa harus diproses terlebih dulu. PLTP Kamojang mengembangkan energi bersih panas bumi dengan kapasitas terpasang 375 MW. Jumlah itu merupakan integrasi dari 3 sub unit, yaitu PLTP Kamojang dengan 3 unit pembangkit berkapasitas sebesar 140 MW, PLTP Darajat di Kabupaten Garut dengan 1 unit berkapasitas sebesar 55 MW, dan PLTP Gunung Salak di Kabupaten Bogor dengan 3 unit pembangkit berkapasitas sebesar 180 MW. Hasil yang dihasilkan oleh PLTP Kamojang kemudian disalurkan ke jaringan transmisi listrik Jawa – Bali melalui jaringan 500 kV. PLTP Kamojang yang berada di kabupaten Bandung, Jawa barat, menurut rilis peta IKL BMKG 2011-2020 termasuk area dengan kerawanan sedang (45%). Yang artinya memiliki tingkat kerawanan petir cukup tinggi. Sehingga kebutuhan sistem proteksi petir yang handal adalah syarat wajib untuk meminimalisir bahkan menghilangkan dampak petir.

Kegiatan assesment grounding ini memiliki tujuan untuk melakukan evaluasi sistem grounding apakah sudah cukup atau membutuhkan peningkatan, melakukan evaluasi sistem grounding untuk peningkatan keandalan system, memberikan rekomendasi terkait langkah proteksi tambahan dan peningkatan

desain. Desain Ideal Sistem *Grounding* Sistem Pentanahan dibangun dari beberapa sub-sistem antara lain *Down conductor system* yang merupakan sistem konduktor penghantar turun untuk menyalurkan gangguan ke tanah, *Earth termination system* merupakan sistem terminasi pembumian untuk menerima gangguan dari *down conductor system*, *Separation distance* yang merupakan jarak minimum antara kabel down conductor dan bagian metal peralatan agar tidak terjadi tegangan induksi maupun *back flash-over*, serta *Equipotential Bonding* yang merupakan koneksi antara struktur dan peralatan logam agar memiliki tegangan yang sama saat terjadi petir.

2 Studi Literatur

Petir merupakan peristiwa pelepasan muatan listrik statik di udara yang dibangkitkan dalam bagian awan petir yang disebut cells. Pelepasan muatan ini dapat terjadi dalam 2 (dua) kemungkinan, yaitu:

- Lightning Flash* yaitu pelepasan muatan diantara awan-awan ataupun antara pusat pusat muatan di dalam awan tersebut.
- Lightning Strike* yaitu pelepasan muatan antara awan bermuatan dengan tanah.

Lebih banyak pelepasan muatan (*discharge*) terjadi antara awan-awan dan di dalam awan itu sendiri daripada pelepasan muatan yang terjadi antara awan bermuatan dengan tanah. Tetapi petir awan – tanah ini sudah cukup besar untuk dapat menyebabkan kerusakan pada benda-benda di permukaan tanah. Petir merupakan proses alam yang terjadi di atmosfer bumi pada waktu hujan (*thunderstorm*). Muatan-muatan tersebut akan terkonsentrasi di dalam awan atau bagian dari awan dan muatan yang berlawanan akan timbul pada permukaan tanah di bawahnya. Jika muatan bertambah, beda potensial antara awan dan tanah akan naik, maka kuat medan listrik di udara pun akan meningkat. Jika kuat medan listrik ini melebihi kekuatan dielektrik diantara awan-awan tersebut, maka akan terjadi pelepasan muatan (petir). [1]

Pengukuran Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi wenner dilakukan dengan serangkaian peralatan utama pengukuran tahanan jenis dan peralatan pendukung. Peralatan ini terdiri dari :

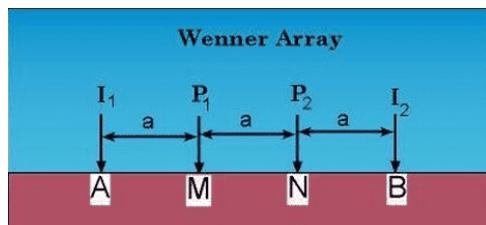
- Resistivity unit, merupakan peralatan utama untuk melakukan perekaman data tahanan jenis.
- Elektroda, merupakan alat yang menjadi media aliran arus listrik ke tanah.
- Kabel, merupakan alat yang menghubungkan antara elektroda dengan peralatan utama.
- Accu, merupakan alat untuk membangkitkan arus pada peralatan utama.
- Perlengkapan pendukung lainnya, yaitu meteran, kalkulator, kompas, gps.

3. Metode Pengukuran

Tahanan jenis listrik setiap litologi batuan bervariasi, sebagian besar tergantung pada jumlah kandungan air dan ion-ion yang terlarut di dalam air. Penyelidikan tahanan jenis dapat digunakan untuk mengidentifikasi daerah-daerah dengan tahanan jenis yang berbeda. Distribusi nilai tahanan jenis di bawah permukaan tanah dengan melakukan pengukuran dari atas permukaan tanah. Berdasarkan hasil interpretasi data, maka tahanan jenis sebenarnya di bawah permukaan tanah dapat diprediksikan. Tahanan jenis lapisan batuan berhubungan dengan berbagai parameter parameter geologi seperti kandungan mineral dan kandungan air, kandungan lempung, porositas, dan derajat kejemuhan air dalam batuan.

Metode ini dilakukan dengan menginjeksikan arus listrik ke bawah permukaan melalui titik elektroda sumber arus dan mengukur besarnya tegangan listrik. Hasil pengukuran ini akan menghasilkan nilai tahanan di titik pengukuran.

Penyebaran batuan dengan memanfaatkan perbedaan nilai tahanan jenis ini dapat diprediksi. Pengukuran tahanan jenis di daerah penyelidikan menggunakan metode pengukuran soil resistivity konfigurasi Wenner. Metode ini dipilih karena mampu memberikan informasi bawah permukaan secara horizontal dan vertikal. Skema dari pengukuran tahanan jenis ini.



Gambar 1. Titik Elektroda Wenner Array

4 Pembahasan

4. 1 Pengukuran Tahanan Jenis

Pengukuran tahanan jenis ini dilakukan sebanyak 3 titik diareal yang diteliti. Panjang bentangan disesuaikan dengan target kedalaman. Spasi elektroda maksimal yang digunakan 50 meter. Pemilihan titik disesuaikan dengan titik rencana yang sudah ditentukan. Koordinat lokasi titik-titik pengukuran adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Koordinat lokasi pengukuran tahanan jenis tanah

Titik Pengukuran	Koordinat Long/Lat	Elevasi (mdpl)
R-01	107°47'05.37"E	07°08'17.07"S
R-02	107°47'07.65"E	07°08'19.11"S

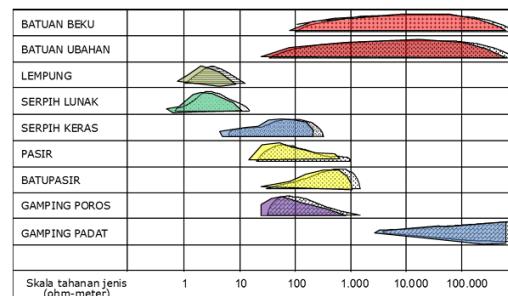


Gambar 2. Lokasi Pengukuran

4.2 Pengolahan Dan Interpretasi Data Lapangan

Dari hasil pengukuran lapangan, dihasilkan kurva lapangan yang dapat diinterpretasikan sebagai lapisan batuan di bawah tanah. Batuan dari endapan Formasi Warukin merupakan batuan yang menyusun daerah penelitian. Pengolahan data lapangan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak atau Software.

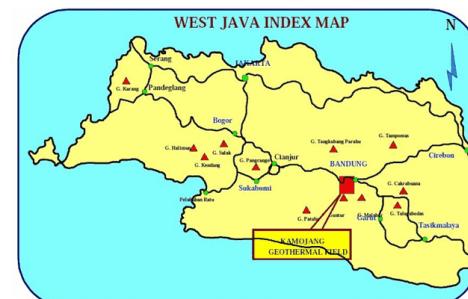
Berdasarkan harga ρ (tahanan jenis) pada tiap lapisan yang diinterpretasi, semakin besar ukuran butir tanah akan semakin besar harga tahanan jenis pada lapisan batuan tersebut. Dalam penyelidikan ini dilakukan penafsiran kuantitatif, disebut juga (*sounding*). Penafsiran kuantitatif menafsirkan litologi batuan berdasarkan harga tahanan jenis dan kedalaman lapisan batuan. Korelasi antara litologi batuan dan harga tahanan jenis disajikan pada di bawah ini.



Gambar 3. Tahanan Jenis Batuan (ohm-meter).

4.3 Lokasi Penyelidikan

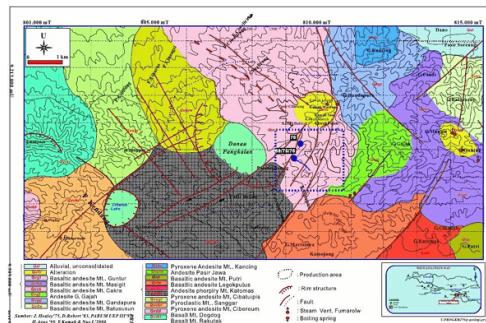
Area panas bumi Kamojang terletak 40 Km dari Kota Bandung ke arah Tenggara, didalam wilayah pemerintahan Kabupaten Bandung dan Garut. Area panas bumi Kamojang meliputi luas kurang lebih sebesar 31,68 km² dan luas daerah prospek sekitar 21 km². Secara geografis daerah ini berada pada posisi 7° 8' 2" LS - 107° 48' 0.01" BT dengan ketinggian sekitar 1500 m diatas muka air laut. Kamojang beriklim sejuk, dengan suhu 150 - 200C dengan curah hujan setiap tahunnya mencapai 2885 mm.



Gambar 4. Peta PLTP Kamojang

4.4 Kondisi Geologi Kamojang

Dari studi geologi dan geofisika lapangan panas bumi Kamojang menguraikan hidrogeologi lapangan panas bumi Kamojang seperti terlihat pada Gambar 2.2. di bawah ini. Pada lapangan panas bumi Kamojang terdapat komplek Guntur dan formasi Gandapura Atas (Q1) yang dicirikan oleh batuan padat dengan porositas moderat, permeabilitas relatif tinggi dan resistivitas menengah hingga tinggi.



Gambar 5. Lapangan Panas Bumi

4.5 Evaluasi Proteksi External Bangunan

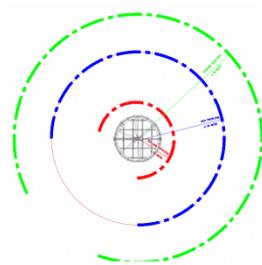
Sistem proteksi yang disarankan untuk Area PLTP Kamojang adalah Level IV. Pada Level IV, radius sistem proteksi petir maksimal adalah 60m dengan arus petir puncak yang dapat ditangkap adalah 100kA. Untuk *down conductor*, Level IV memiliki jarak maksimal setiap 20m.

Air Terminal System

Beberapa bangunan telah memiliki air terminal. Akan tetapi setelah dievaluasi menggunakan radius rolling sphere 60 meter, beberapa bangunan tidak memiliki air terminal yang cukup. Hasil evaluasi cakupan air terminal tertuang pada tabel dibawah ini.

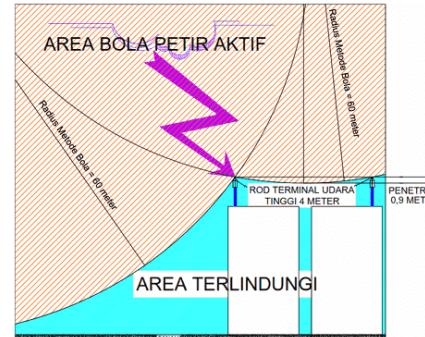
Tabel 2. Hasil Evaluasi Kecukupan Air Terminal

Deskripsi Bangunan	Jumlah Air Terminal	Cukup / Tidak Cukup	Jumlah Air Terminal Secara Ideal
Power House	5 buah	Tidak Cukup	12
Cooling Tower area 1	Elektrostatik	Cukup	1
Cooling Tower area 2	Tidak ada	Tidak Cukup	3
Cooling Tower area 3	Tidak ada	Tidak Cukup	3



Gambar 6. Area Proteksi Sambaran Petir

Area Proteksi Sambaran Petir Terhadap Air Terminal. Desain air terminal di atas telah memperhatikan kemungkinan penetrasi petir terhadap sudut proteksi *air terminal*.



Gambar 7. Jarak Lindung Sambaran Petir

Sudut Penetrasi Sambaran Petir Terhadap Air Terminal dengan Metode Bola Bergulir Level IV (Radius 60 meter).

Down Conductor System

Penggunaan *down conductor* pada sebagian bangunan yang digunakan adalah BC 30mm². Ukuran ini seharusnya sesuai dengan standar minimal ukuran *down conductor* yaitu sebesar 50mm² tapi belum memenuhi. Akan tetapi untuk memenuhi level IV proteksi petir, jumlah *down conductor system* perlu ditingkatkan sesuai tabel di bawah ini.

Tabel 3. Jumlah *air terminal* yang yang ideal

Deskripsi Bangunan	Jumlah Air Terminal	Cukup / Tidak Cukup	Jumlah Air Terminal Secara Ideal
Power House	5 buah	Tidak Cukup	12
Cooling Tower area 1	Elektrostatik	Cukup	1
Cooling Tower area 2	Tidak ada	Tidak Cukup	3
Cooling Tower area 3	Tidak ada	Tidak Cukup	3

Separation Distance

Bangunan tinggi yang dapat mewakili jarak *aman down conductor* ke peralatan adalah power house. Dengan tinggi bangunan 20 meter, jarak *separation distance* untuk *down conductor* kabel tembaga telanjang ke peralatan adalah 85cm.

Earthing Termination System

Dengan data dari uji riksa dari hasil pengukuran PT. Sucofindo dan pengujian ulang di lapangan terbaru, bangunan-bangunan di PLTP Kamojang telah memiliki nilai resistansi di bawah 5 ohm. Nilai ini setelah divalidasi lebih lanjut memiliki hasil yang mengejutkan di beberapa titik. Perbaikan harus segera dilakukan untuk di area *Power House* dan area tiang proteksi petir area *workshop*. Peningkatan sistem juga harus dilakukan yaitu dengan pembagian jelas antara sistem pembumian proteksi petir, sistem pembumian peralatan, dan sistem pembumian instrumentasi.

Tabel 4. Temuan Anomali Sistem Pembumian saat Saat Site Survey

Deskripsi	Kondisi Eksisting	Cukup / Perlu Koreksi	Rekomendasi
Sistem Pembumian Tiang Proteksi dekat Cooling Tower	Nilai di atas 5ohm untuk individual	Tidak Cukup	Sistem pembumian agar diperbaiki secara individual dibawah 5ohm, dan secara grid dibawah 1ohm.
Sistem Pembumian Power House	Nilai di atas 5ohm untuk individual	Tidak Cukup	Sistem pembumian agar diperbaiki secara individual dibawah 5ohm, dan secara grid dibawah 1ohm.

Tabel 5. Hasil Evaluasi Umum Sistem Pembumian

Deskripsi	Kondisi Eksisting	Markin Penanda Eksisting	Cukup / Tidak Cukup	Rekomendasi
Sistem Pembumian Proteksi Petir	Ada tapi tidak tersambung	Ada	Tidak Cukup	Semua sistem pembumian sebaiknya digabung paralel seri di dalam bumi untuk meningkatkan keandalan sistem pembumian
Sistem Pembumian Peralatan	Tidak Ada	Ada	Tidak Cukup	
Sistem pembumian Peralatan Instrumen	Ada	Ada	Tidak Cukup	

Tabel 6. Temuan Umum Equipotential Bonding

Deskripsi	Rekomendasi
Cable Tray dan Ladder tidak terbonding ke sistem pembumian	Agar di-bonding ke sistem pembumian peralatan (PE)
Struktur logam tidak ada yang terbonding ke sistem pembumian	Agar di-bonding ke sistem sebagian (vital) pembumian peralatan(PE)
Penanda kabel “dari” dan “menuju” pada kabel yang tidak ada	Agar dibuatkan marking pada kabel untuk mempermudah pemeliharaan sistem pembumian

4.6 Evaluasi Hasil Survey Proteksi Internal Panel

Penggunaan SPD Untuk Power Dan SPD Untuk Instrumentasi. Dengan menerapkan sistem proteksi petir level IV, pemasangan SPD untuk area berpotensi terdampak impuls petir cukup disarankan. SPD-yang dipasang adalah untuk *power*

source dan juga untuk beberapa peralatan instrumentasi. Penggunaan SPD hanya akan dapat mengatasi dampak petir jika sistem pembumian sudah benar. SPD *Power* yang harus dipasang pada panel instrumentasi adalah SPD tipe 2. Sedangkan SPD tipe 1 harus dipasang di Panel Distribusi Utama. Ini dilakukan agar tercapai koordinasi energi dan koordinasi isolasi. Pembumian untuk SPD *power* ini harus masuk ke PE bar. SPD instrumentasi harus dipasang untuk mencegah arus impuls petir merambat dari kabel instrument di lapangan masuk ke dalam panel. *Earthing* SPD instrumentasi harus masuk ke IE bar.

4.7 Pengukuran Resistansi

Didapatkan nilai resistansi yang terukur pada *grounding electrostatic* area *power house* senilai 0,94 ohm. Selanjutnya pengukuran resistansi *grounding* juga dilakukan pada *power house* di sisi utara. Dengan nilai resistansi senilai 0,11 ohm. Pengukuran resistansi *grounding* berikutnya dilakukan pada sisi timur *power house*, dengan nilai resistansi senilai 0,02 ohm. Air terminal (*lightning rod*) *power house* sisi barat (menghadap gardu induk), *down conductor* masing masing rod sejajar trafo GT.

Nilai resistansi *grounding* yang terukur pada rod *power house* senilai 0,29 ohm. Berikutnya melakukan pengecekan kondisi wiring terminal pada control panel. Setelah itu melakukan pengecekan dan pengukuran resistansi pada *grounding pit elektrostatik* dan *cooling tower* 2 dan 3. Selanjutnya melakukan pengecekan pada kondisi *surge counter elektrostatik*, namun pada saat pengecekan *surge counter elektrostatik* dalam kondisi mati dikarenakan (sumber) batre habis. Berikutnya melakukan pengecekan *terminal rod grounding cooling tower*. Kondisi grounding pada terminal rod hampir semua terminal Rod terendam air, lumpur, dan kerak lumut.

Name Plate salah satu *grounding rod down conductor cooling tower* 3. Ket: Pangjang rod : 4,0 m Kedalaman rod : 1,0 m Tahun pembuatan : 13-7 1987. Nilai resistansi *grounding down conductor cooling tower* 3 yang terendam lumpur senilai 113,2 ohm, Berikutnya melakukan Pengukuran resistansi *grounding down conductor cooling tower* 1.

4.8 Interpretasi Hasil Pengolahan Data Resistivitas Tanah

Berdasarkan hasil pengolahan data lapangan yang dikorelasikan dengan geologi dan pengamatan litologi setempat maka dilakukan interpretasi setiap titik pengukuran yang hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 7. Korelasi pengamatan lapangan dengan interpretasi litologi

Titik	(rho) Ωm	Tebal (m)	Kedalaman (m)	Interpretasi Litologi
R-1	380.9	0.6	0 - 0.6	Soil
	119.86	0.7	0.56 - 1.26	Batu Pasir
	297.86	1.69	1.26 - 2.95	Batu Pasir
	129.13	12.86	2.95 - 15.81	Pasir
	13.1	9.19	15.81 - 25	Lempung
R-2	267.25	0.42	0 - 0.42	Soil
	83.79	0.43	0.42 - 0.85	Batu Pasir
	37.81	10.49	0.85 - 11.34	Pasir
	11.96	2.52	11.34 - 13.86	Lempung
	390.59	11.14	13.86 - 25	Batu Pasir

4.9 Perhitungan Nilai Tahanan Pentanahan (Rg)

Dari hasil pengolahan data didapatkan harga tahanan jenis sebenarnya setiap lapisan tanah pada setiap titik pengukuran, sehingga dapat dihitung nilai tahanan pentanahan (*grounding*), panjang dan diameter elektroda (arde). Hasil Perhitungan nilai tahanan pentanahan (Rg) disajikan dalam bentuk tabel dibawah berikut ini.

Tabel 8. Nilai Tahanan Pentanahan (Rg) Pada Titik Pengukuran (R-01)

Kedalaman instalasi Arde Terpilih (meter)	R-01 AREA POWER HOUSE		
	Diameter Arde (mm)	Panjang Elektroda (meter)	Rg Tahanan Pentanahan (Ohm)
15,81 meter di bawah tanah	30	1	11.64
		2	6.55
		3	4.65
	40	1	11.04
		2	6.25
		3	4.45
	50	1	10.57
		2	6.01
		3	4.29

Tabel 9. Nilai Tahanan Pentanahan (Rg) Pada Titik Pengukuran (R-02)

Kedalaman instalasi Arde Terpilih (meter)	R-02 AREA POWER HOUSE		
	Diameter Arde (mm)	Panjang Elektroda (meter)	Rg Tahanan Pentanahan (Ohm)
11,34 meter di bawah tanah	30	1	10.63
		2	5.98
		3	4.24
	40	1	10.08
		2	5.70
		3	4.06
	50	1	10.08
		2	5.70
		3	4.06

5 Kesimpulan

Kegiatan *Assessment Grounding* yang dilakukan pada Gedung unit 1, 2, dan 3 PLTP Kamojang dengan tujuan untuk melakukan evaluasi sistem *grounding* menggunakan metode pengukuran tahanan jenis tanah membutuhkan peningkatan yang disebabkan karena nilai resistansi tanah memiliki nilai di bawah 5 ohm. Nilai ini setelah divalidasi lebih lanjut memiliki hasil yang mengejutkan di beberapa titik. Perbaikan harus segera dilakukan untuk di area *Power House* dan area tiang proteksi petir area *workshop*. Peningkatan sistem juga harus dilakukan yaitu dengan pembagian jelas antara sistem pembumian proteksi petir, sistem pembumian peralatan, dan sistem pembumian instrumentasi.

Kontribusi Penulis

Dalam penelitian ini, saya terlibat secara langsung mulai dari merumuskan masalah, menyusun rancangan penelitian, hingga melakukan pengumpulan data di lapangan. Saya juga mengambil peran dalam menganalisis dan menafsirkan data yang telah didapatkan. Selain itu, saya menulis dan merevisi naskah artikel ini sampai akhirnya siap untuk dipublikasikan, serta memastikan setiap tahapan penelitian berjalan sesuai prosedur ilmiah yang berlaku.

Ucapan Terima Kasih

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak di PLTP Kamojang yang telah memberikan izin, dukungan, dan fasilitas selama pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih juga kami sampaikan kepada rekan-rekan peneliti dan semua pihak yang telah berkontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam membantu proses pengumpulan data, analisis, hingga penyusunan laporan penelitian ini. Dukungan dan kerja sama yang diberikan sangat berarti bagi keberhasilan penelitian ini. Semoga segala bantuan dan kerja sama yang telah terjalin dapat terus berlanjut di masa mendatang.

Referensi

- [1] Z. Lubis, S. A. Selly, and A. . Metode Terbaru, “Metode Terbaru Perancangan Proteksi Petir Eksternal Pada Pembangkit Listrik,” 2019.
- [2] M. Septian, “DESAIN SISTEM PROTEKSI PETIR INTERNAL PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA KUALA BEHE KABUPATEN LANDAK.”
- [3] P. Surya Harianto, B. Surya Gumilang, T. Umar Syams, and B. P. Eko, “Rancang Bangun Grounding Box Soil Treatment Sebagai Media Pengukuran Resistansi Pentanahan untuk Proteksi Pembangkit Hybrid PV-Angin Politeknik Negeri Malang,” *Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 11, no. 9.
- [4] “Laporan PKL LIDIA ARINDI NIBAYA-”.