

Perancangan dan Pemasangan Sistem Grounding Laboratorium Komputer Kampus V Bukittinggi Universitas Negeri Padang

Yogi Harvio Adelson^{1*}, Ta'ali²

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro Industri, Departemen Teknik Elektro, Universitas Negeri Padang

^{*}Corresponding author, yogiharvio1@gmail.com

Abstrak

Sistem pentanahan adalah sistem yang menjadi penghubung antara peralatan, perangkat, piranti, dan instalasi listrik dengan tanah untuk melindungi manusia dan instalasi listrik dari risiko tegangan dan arus yang tidak normal. Berdasarkan pemeriksaan sebelumnya yang dilakukan di Laboratorium Komputer Kampus V Universitas Negeri Padang, tidak ditemukan sistem *grounding* pada instalasi listrik laboratorium tersebut. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan memasang sistem pentanahan yang memenuhi Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) dengan menggunakan metode observasi, dokumentasi, dan pengukuran tiga titik menggunakan *Earth Tester*. Nilai resistivitas tanah di area Gedung Laboratorium Komputer Kampus V Universitas Negeri Padang pada kedalaman 1,2 m adalah 16,433 $\Omega \cdot m$ dan termasuk dalam jenis tanah rawa. Pada perancangan ini digunakan persamaan matematis dengan panjang elektroda 8 m dipasang secara paralel dengan jarak antar elektroda 10 m dan jarak 2 m dari elektroda ke panel, sehingga menghasilkan nilai resistansi sebesar 0,95 Ω . Setelah sistem pentanahan dipasang di Laboratorium Komputer Kampus V Universitas Negeri Padang diperoleh nilai tahanan pentanahan rata-rata sebesar 3,006 Ω .

Abstract

A grounding system is a system that connects a system, tools, devices, and electrical installations with the earth that aims to protect humans or electrical installations from the dangers of abnormal voltages and currents. Based on the results of measurements that have been carried out previously at the Computer Laboratory Campus V of Padang State University, a grounding resistance value of 13.94 Ω was obtained. The value does not meet the provisions of the General Requirements for Electrical Installations (PUIL). Therefore, this study aims to design and install a grounding system that is suitable and meets the provisions of PUIL using observation, documentation, and three-point measurement methods with Earth Tester. The value of soil resistance in the area of the Computer Laboratory Building Campus V of Padang State University for a depth of 1.2 m is 16,433 $\Omega \cdot m$ and the soil is a type of swampland. In the design with mathematical equations using electrodes along 8 m installed parallel with a distance between electrodes of 10 m and a distance of electrodes to a panel of 2 m, a resistance value of 0.95 Ω was obtained. After the installation of the grounding system at the Campus V Laboratory of Padang State University, an average value of 3,006 Ω was obtained.

INFO.

Info. Artikel:

No. 388

Received. May, 12, 2023

Revised. May, 26, 2023

Accepted. June, 05, 2023

Page. 297 – 305

Kata kunci:

- ✓ Sistem pentanahan
- ✓ Metode tiga titik
- ✓ Perancangan sistem pentanahan
- ✓ Pemasangan sistem pentanahan
- ✓ Tahanan jenis tanah

PENDAHULUAN

Sistem *Grounding* merupakan suatu sistem yang menghubungkan suatu sistem, peralatan, piranti, dan instalasi listrik dengan bumi untuk melindungi manusia atau instalasi listrik dari risiko tegangan dan arus yang tidak normal.[1][2][3]. Sistem *grounding* juga berfungsi sebagai sistem keamanan untuk perangkat-perangkat yang menggunakan listrik sebagai sumber tenaga, melindunginya dari lonjakan listrik terutama akibat petir. Sistem *grounding* dipasang untuk mengalirkan arus dan tegangan

berlebih atau gangguan listrik internal sistem ke dalam tanah, sehingga sistem dan orang-orang di sekitar area tersebut dapat terlindungi dari bahaya yang mungkin terjadi.[4][5][6][7].

Fungsi *grounding* memiliki beragam manfaat, salah satunya adalah untuk melindungi manusia dari sengatan listrik dengan mengalirkan arus gangguan secara langsung ke bumi atau tanah. Selain itu, *grounding* juga berperan sebagai proteksi bagi peralatan elektronik guna mencegah kerusakan yang mungkin terjadi. Untuk memastikan *grounding* sesuai dengan fungsinya, nilai resistansi *grounding* harus sekecil mungkin agar dapat mencapai tingkat keamanan yang optimal.[8][9].

Sebuah sistem *grounding* yang efektif dapat mengurangi kerusakan dan menjaga kinerja yang handal dari perangkat elektronik akibat lonjakan atau kesalahan arus. Semakin rendah nilai resistansi *grounding*, semakin tinggi kemampuannya dalam mengalirkan arus ke dalam tanah. Hal ini penting untuk mencegah bahaya bagi manusia dan mencegah kerusakan pada peralatan tenaga listrik.[10][11].

Resistansi terukur adalah indikator dari kualitas sistem *grounding*. Sebuah nilai resistansi yang baik adalah antara 0 hingga 5 ohm. Dalam kata lain, jika hasil pengukuran melebihi 5 ohm, maka tahanan *grounding* tidak memenuhi standar instalasi listrik yang berlaku saat ini. Nilai tahanan yang direkomendasikan untuk instalasi listrik adalah kurang dari 5 ohm, sedangkan untuk peralatan elektronik direkomendasikan kurang dari 1 ohm.[12][13]. Dampak negatif yang disebabkan oleh resistansi pentanahan yang buruk akan memberikan kerugian ekonomi dan mengurangi efektivitas Universitas Negeri Padang secara keseluruhan, terutama pada gedung Laboratorium Komputer Kampus V Universitas Negeri Padang.

Untuk melindungi peralatan dan perangkat elektronik di Laboratorium Komputer Kampus V UNP Bukittinggi dari potensi kerusakan yang disebabkan oleh petir atau kegagalan isolasi, diperlukan desain sistem pentanahan yang sesuai dengan Persyaratan Instalasi Listrik Umum (PUIL). Tujuan dari perancangan ini adalah untuk memastikan keamanan penggunaan perangkat elektronik dan melindungi perangkat tersebut dari kerusakan.

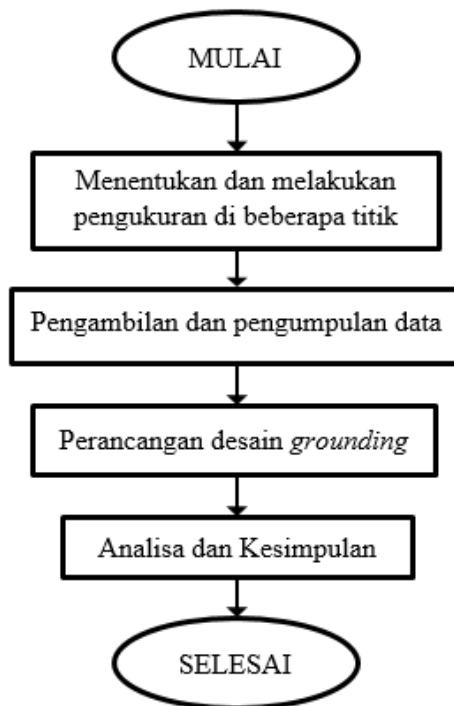
METODE PENELITIAN

Pada bulan Januari 2023, penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Komputer Kampus V Universitas Negeri Padang. Tanah di lokasi tersebut adalah jenis tanah rawa. Informasi lebih lanjut mengenai lokasi penelitian dapat ditemukan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Denah lokasi penelitian

Tahapan penelitian



Gambar 2. Tahapan penelitian dan pengambilan data

Alat penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah seperti yang tergambar dalam tabel 1 sebagai berikut:

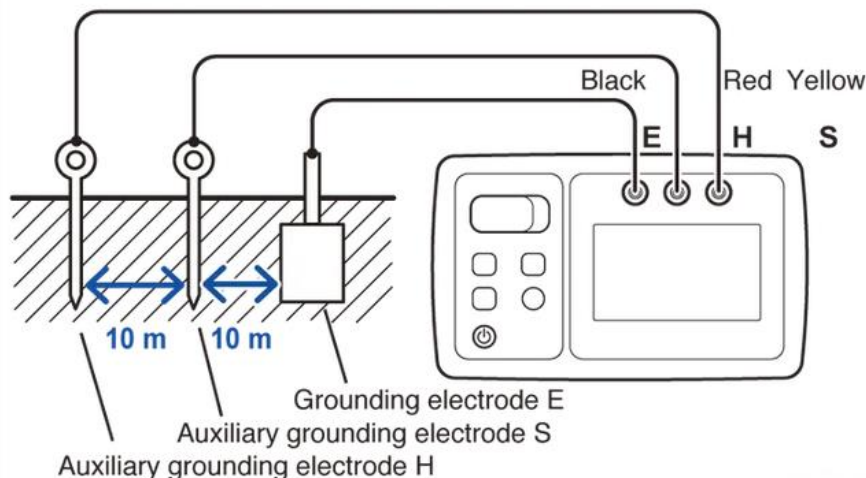
Tabel 1. Alat-alat penelitian

No	Alat	Jumlah	Unit
1.	Earth Tester	1	Unit
2.	Elektroda Bantu	2	Buah
3.	Kabel Terminal Hitam (E)	4	Meter
4.	Kabel Terminal Kuning (P)	10	Meter
5.	Kabel Terminal Merah (C)	20	Meter
6.	Palu/Martil	1	Buah
7.	Meteran	1	Buah
8.	Tang Buaya	1	Buah
9.	Obeng +-	1	Buah
10.	Tespen	1	Buah

Metode pengambilan data

Pada penelitian ini metode pengumpulan data yang digunakan meliputi observasi, dokumentasi, dan pengukuran tiga titik menggunakan *Earth Tester*. [14].

1. Metode observasi, digunakan untuk mengidentifikasi lokasi dan posisi pemasangan elektroda grounding di Laboratorium Komputer Kampus V Universitas Negeri Padang.
2. Metode dokumentasi, berfungsi untuk mendokumentasikan data-data hasil dari pengukuran pada Laboratorium Komputer Kampus V Universitas Negeri Padang.
3. Metode pengukuran, menggunakan *Earth Tester* yang melibatkan penggunaan dua elektroda bantu seperti yang ditunjukkan dalam gambar 3.



Gambar 3. Metode pengukuran dengan *Earth Tester*

Setelah data berhasil dikumpulkan, data tersebut akan dianalisis menggunakan persamaan berikut [15]:

Persamaan yang digunakan untuk menghitung tahanan pentanahan pada elektroda batang tunggal adalah sebagai berikut:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \quad (1)$$

Sementara itu, rumus yang digunakan untuk menghitung tahanan pentanahan pada 2 elektroda batang adalah sebagai berikut [16]:

$s < L$;

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \right) \quad (2)$$

$s > L$;

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \right) \quad (3)$$

Rumus Tahanan Penghantar:

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (4)$$

Dimana :

- A = Luas penampang kawat (m^2)
- L = Panjang kawat (m)
- ρ = Tahanan jenis tanah ($\Omega.m$)
- R = Tahanan pentanahan (Ω)

Tabel 2. Nilai tahanan jenis penghantar

Bahan	Tahanan Jenis / ρ ($\Omega.m$)
Platina	$10,6 \times 10^{-8}$
Besi	$9,71 \times 10^{-8}$
Tungsten	$5,60 \times 10^{-8}$
Aluminium	$2,65 \times 10^{-8}$
Emas	$2,44 \times 10^{-8}$
Tembaga	$1,68 \times 10^{-8}$
Perak	$1,59 \times 10^{-8}$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran tahanan menggunakan elektroda batang tunggal

Sebagai upaya untuk mengetahui nilai tahanan jenis tanah pada Laboratorium Komputer Kampus V Bukittinggi UNP, digunakan metode pengukuran tiga titik menggunakan *Earth Tester* dengan model HIOKI FT6031. Dalam pengukuran digunakan elektroda batang dengan panjang 1,2 m, dua elektroda bantu dengan panjang 0,3m dengan jarak antar elektroda bantu sebesar 10 m. Dibawah ini adalah hasil pengukuran resistansi di sekitar Gedung Laboratorium Komputer Kampus V Universitas Negeri Padang:

Tabel 3. Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan Menggunakan Elektroda Batang Sepanjang 1,2 m Untuk Mengetahui Tahanan Jenis Tanah

No.	Koordinat Elektroda 1 dan 2	Hasil Pengukuran	Jarak Elektroda Bantu 1 dengan Elektroda	Jarak antar Elektroda Bantu
1.	0°18'57.6"LS 100°22'18.3"LT dan 0°18'57.5"LS 100°22'18.5"LT	12,52 Ω	10 m	10 m
2.	0°18'57.6"LS 100°22'18.3"LT dan 0°18'57.6"LS 100°22'18.5"LT	14,11 Ω	10 m	10 m
3.	0°18'57.6"LS 100°22'18.3"LT dan 0°18'57.7"LS 100°22'18.3"LT	14,07 Ω	10 m	10 m
4.	0°18'57.6"LS 100°22'18.3"LT dan 0°18'57.7"LS 100°22'18.0"LT	14,51 Ω	10 m	10 m
5.	0°18'57.7"LS 100°22'18.0"LT dan 0°18'57.6"LS 100°22'18.3"LT	14,46 Ω	10 m	10 m

Analisa perhitungan menggunakan persamaan matematis

Hasil pengukuran tahanan pentanahan menunjukkan bahwa nilai tahanan belum mencapai target yang diinginkan, yaitu kurang dari 1 Ω. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan untuk mencapai nilai tahanan yang sesuai dengan target tersebut. Dari pengukuran yang dilakukan, rata-rata tahanan tanah di sekitar Laboratorium Komputer Kampus V Bukittinggi UNP adalah 13,934 Ω. Diketahui:

$$L = 1,5 \text{ m}$$

$$d = \frac{5}{8} = 0,0159 \text{ m}$$

$$a = \frac{1}{2} d, a = 0,008 \text{ m}$$

$$R_{\text{rata-rata}} = 13,934 \Omega$$

Ditanya: ρ ?

Penyelesaian:

$$R = \frac{\rho}{2 \times \pi \times L} \left[\ln \frac{4L}{a} - 1 \right]$$

$$13,934 = \frac{\rho}{2 \times 3,14 \times 1,2} \left[\ln \frac{4 \times 1,2}{0,008} - 1 \right]$$

$$13,934 = \frac{\rho}{7,536} \left[\ln \frac{4,8}{0,008} - 1 \right]$$

$$13,934 = \frac{\rho}{7,536} [6,39]$$

$$6,39\rho = 13,934 \times 7,536$$

$$\rho = \frac{13,934}{6,39}$$

$$\rho = 16,433 \Omega.m$$

Setelah didapatkan nilai ρ maka dicari nilai R₁ dengan L = 8 m, berikut perhitungannya:

$$R_1 = \frac{\rho}{2 \times \pi \times L} \left[\ln \frac{4L}{a} - 1 \right]$$

$$R_1 = \frac{16,433}{2 \times 3,14 \times 8} \left[\ln \frac{4 \times 8}{0,008} - 1 \right]$$

$$R_1 = \frac{16,433}{50,24} \left[\ln \frac{32}{0,008} - 1 \right]$$

$$R_1 = (0,33) \times (8,3)$$

$$R_1 = 2,739 \Omega$$

Dikarenakan nilai resistansi yang diperoleh menggunakan satu elektroda batang belum kurang dari 1 Ω , perhitungan lebih lanjut dilakukan dengan menggunakan dua batang elektroda masing-masing sepanjang $L = 8$ m yang dipasang paralel dan jarak elektroda $s = 10$ m. Mengingat jarak elektroda (s) > panjang elektroda (L), digunakan persamaan berikut:

$$R_2 = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{L^2}{3S^2} + \frac{2L^4}{5S^4} \right)$$

$$R_2 = \frac{16,433}{4 \times 3,14 \times 8} \left(\ln \frac{4 \times 8}{0,008} - 1 \right) + \frac{16,433}{4 \times 3,14 \times 10} \left(1 - \frac{8^2}{3 \times 10^2} + \frac{2 \times 8^4}{5 \times 10^4} \right)$$

$$R_2 = \frac{16,433}{100,48} \left(\ln \frac{32}{0,008} - 1 \right) + \frac{16,433}{125,6} \left(1 - \frac{64}{300} + \frac{8192}{50000} \right)$$

$$R_2 = 0,16(8,3) + 0,13(0,95)$$

$$R_2 = 1,33 + 0,12$$

$$R_2 = 1,45 \Omega$$

Paralelkan R_1 dan R_2 untuk mendapatkan nilai Tahanan elektroda total yang dilambangkan dengan $R_{Paralel}$

$$R_{Paralel} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_{Paralel} = \frac{2,739 \times 1,45}{2,739 + 1,45}$$

$$R_{Paralel} = \frac{3,971}{4,189}$$

$$R_{Paralel} = 0,948$$

Selanjutnya lakukan perhitungan tahanan penghantar (R_K) menggunakan persamaan :

$$R_K = \frac{\rho l}{A}$$

Dikarenakan menggunakan penghantar tembaga, maka nilai hambatan jenis atau ρ memiliki nilai sebesar $1,68 \times 10^{-8} \Omega m$. $R_K = \frac{\rho l}{A}$

$$R_K = \frac{(1,68 \times 10^{-8} \Omega m) \times (15 m)}{5 \times 10^{-5} m^2}$$

$$R_K = \frac{1,34 \times 10^{-2}}{5}$$

$$R_K = 0,5 \times 10^{-2}$$

$$R_K = 0,005 \Omega$$

Maka,

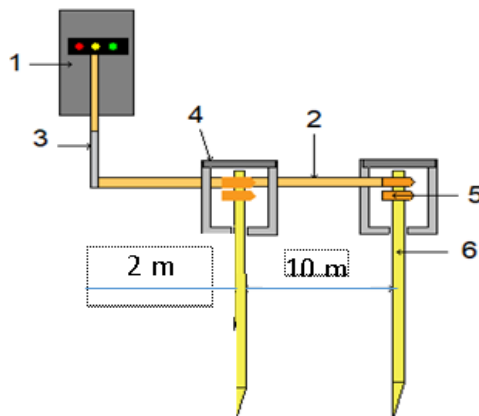
$$R_{Panel} = R_{Paralel} + R_K$$

$$R_{Panel} = 0,948 + 0,005$$

$$R_{Panel} = 0,95$$

Setelah melakukan perhitungan dengan dua buah elektroda masing-masing sepanjang 8 m yang dipasang secara paralel dengan jarak antar elektroda 10 m dan jarak panel dengan elektroda pertama 2 m, nilai $R_{Paralel}$ yang dihasilkan adalah 0,948 Ω . Selanjutnya dihitung nilai resistansi penghantar kabel BC, sehingga diperoleh nilai $R_K = 0,0027 \Omega$. Sebagai upaya agar mendapatkan nilai R_{Panel} , nilai $R_{Paralel}$ ditambahkan ke nilai R_K . Hasil dari penjumlahan nilai tersebut adalah $R_{Panel} = 0,95 \Omega$ dimana nilai tersebut telah memenuhi kriteria yang diinginkan yaitu kurang dari 1 Ω .

Rancangan *grounding*



Ket.

- 1. Panel Listrik Utama
- 2. Kabel BC
- 3. PVC
- 4. Box Control
- 5. Clamp
- 6. Ground Rod

Gambar. 4 Rancangan pemasangan *grounding*

Spesifikasi bahan dan rancangan anggaran biaya

Tabel 6. Spesifikasi dan Rancangan Anggaran Biaya

No	Nama bahan	Spesifikasi	Volume	Satuan	Harga		
					Satuan (RP)	Jumlah (RP)	
1	Kawat tembaga murni	4M	4	Btg	1,350,000	5,400,000	
2	Kawat <i>grounding</i> (bc)	50MM	15	M	90,000	1,350,000	
3	Cincin tembaga bc	2INCHI	4	Buah	55,000	220,000	
4	Skun	50MM	5	Buah	20,000	100,000	
5	Klem kawat bc	NO 17	2	Bks	55,000	110,000	
6	Tembaga peluru	60CM	2	Buah	800,000	1,600,000	
7	Ongkospengerjaan					2,000,000	
Jumlah							10,780,000

Langkah pemasangan sistem pentanahan

1. Menyiapkan bahan dan alat yang dibutuhkan
2. Tancapkan elektroda sesuai titik penanaman yang telah ditentukan
3. Sambungkan kabel BC dengan ujung atas elektroda menggunakan klem.
4. Lindungi kabel BC menggunakan pipa pvc sebagai isolasi.
5. Setelah batang elektroda pentanahan dihubungkan dengan kabel BC menggunakan klem, lalu sambungkan ujung kabel BC pada terminal *grounding* yang terdapat pada panel instalasi.
6. Setelah sistem pentanahan terhubung, ukur nilai tahanan pentanahan apakah sudah sesuai dengan standar.
7. Setelah nilai tahanan sesuai dengan yang diinginkan, kabel BC yang menuju batang elektroda harus ditanamkan kedalam tanah. Kedalaman penanaman kabel BC sekitar 40 hingga 50 cm dibawah permukaan tanah.

Hasil pengukuran tahanan pentanahan

Setelah sistem pentanahan dipasang, dilakukan pengukuran ulang nilai tahanan pentanahan. Berikut adalah hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan yang diperoleh.:

Tabel 7. Hasil Pengukuran Tahanan *Grounding* Kampus V

No.	Koordinat Elektroda 1 dan 2	Hasil Pengukuran	Jarak Elektroda dengan Gedung	Jarak antara Elektroda dengan elektroda bantu	Jarak antar elektroda bantu
1.	0°18'57.6"LS 100°22'18.3"LT dan 0°18'57.5"LS 100°22'18.5"LT	3,20 Ω	2 m	6 m	10 m
2.	0°18'57.6"LS 100°22'18.3"LT dan 0°18'57.6"IS 100°22'18.5"LT	2,80 Ω	2 m	6 m	10 m
3.	0°18'57.6"LS 100°22'18.3"LT dan 0°18'57.7"LS 100°22'18.3"LT	3,02 Ω	2 m	6 m	10 m
4.	0°18'57.6"LS 100°22'18.3"LT dan 0°18'57.7"LS 100°22'18.0"LT	3,13 Ω	2 m	6 m	10 m
5.	0°18'57.7"LS 100°22'18.0"LT dan 0°18'57.6"LS 100°22'18.3"LT	2,88 Ω	2 m	6 m	10 m

Dari hasil pengukuran di atas, nilai rata-rata tahanan pentanahan di Gedung Laboratorium Komputer Kampus V Universitas Negeri Padang adalah 3,006 Ω yang sudah memenuhi standar nilai tahanan pentanahan pada instalasi listrik tetapi belum memenuhi nilai tahanan pentanahan yang optimal untuk perangkat elektronika, yaitu <1 Ω.

Hasil pengukuran tegangan pada stop kontak

Pengukuran tegangan antara Fase-Netral, Fase-Ground, dan Netral-Ground dilakukan untuk memastikan sistem pentanahan sampai ke tiap-tiap stop kontak yang terdapat pada Laboratorium Komputer Kampus V Universitas Negeri Padang. Hasil pengukuran tegangan pada stopkontak adalah sebagai berikut:

Tabel 8. Nilai Tegangan pada Stop Kontak

Titik	Nilai Tegangan (V)			Selisih F-N dengan F-G
	F-N	F-G	N-G	
1	225,9	225,6	0,1	0,3
2	225,8	225,7	0,05	0,1
3	225,6	225,7	0,08	0,1
4	225,5	225,6	0,05	0,1
5	225	225,7	0,06	0,2

Dari hasil pengukuran tegangan pada stop kontak Laboratorium Komputer Kampus V Universitas Negeri Padang didapatkan rata-rata nilai tegangan Fasa-Netral 225,56 V, Fasa-Ground 225,66 V, dan Netral-Ground 0,068 V. Hasil nilai diatas menunjukkan bahwa sistem *grounding* pada Laboratorium Komputer Kampus V Universitas Negeri Padang telah terpasang dengan baik.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa nilai tahanan pentanahan di Laboratorium Komputer Kampus V UNP Bukittinggi belum memenuhi syarat pentanahan yang baik pada alat elektronika menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL). Oleh karena itu, diperlukan desain sistem pentanahan yang sesuai dan terstandarisasi. Hasil perancangan menggunakan persamaan matematis dengan elektroda sepanjang 8 m yang ditanamkan secara paralel, jarak antara masing-masing elektroda adalah 10 m, dan jarak dari elektroda satu ke panel adalah 2 m,

menghasilkan nilai resistansi sebesar 0,95 Ω . Nilai tersebut memenuhi persyaratan yang tercantum dalam Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) dan memenuhi kebutuhan tahanan pentanahan untuk perangkat elektronik, yaitu $<1 \Omega$. Namun, setelah pemasangan nilai resistansi pentanahan yang diukur ternyata adalah 3,006 Ω . Nilai ini berbeda dengan nilai resistansi pentanahan yang dirancang karena variasi spesifikasi bahan yang digunakan selama pemasangan konstruksi atau jenis tanah yang berbeda pada kedalaman tertentu. Perubahan spesifikasi dilakukan karena rancangan biaya tidak terpenuhi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Ta'ali, H. Hambali, A. B. Pulungan, and C. D. Piliya Reza, "Evaluasi Sistem Grounding di Gedung Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 2, no. 2, pp. 289–293, 2021, doi: 10.24036/jtein.v2i2.188.
- [2] A. B. Pulungan, H. Hambali, T. Taali, and H. Habibullah, "Perancangan Sistem Grounding Pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Padang," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 3, no. 1, pp. 111–119, 2022, doi: 10.24036/jtein.v3i1.213.
- [3] M. Mukmin, A. Kali, and B. Mukhlis, "Perbandingan Nilai Tahanan Pentanahan Pada Area Reklamasi Pantai (Citraland)," *Mektrik*, vol. 1, no. 1, pp. 29–39, 2014.
- [4] T. Hutaauruk, *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga & Pengetanahan Peralatan*. Jakarta: Erlangga, 1991.
- [5] A. P. Makmur Saini, A.M.Siddiq, "Pengembangan Sistem Penangkal Petir"
- [6] J. Simamora, Y. Martin, and H. Gusmedi, "Pengaruh Penambahan Asam Sulfat (H₂SO₄) pada Bentonit untuk Penurunan Nilai Tahanan Pentanahan," vol. 10, no. 1, 2016.
- [7] I. Kasim *et al.*, "Analisis Penambahan Larutan Bentonit Dan Dan Batang," *JETri*, vol. 13 ISSN 14, pp. 61–72, 2016.
- [8] A. Irfansyah, E. Pudjiastuti, and P. P. Surabaya, "Pengaruh Sistem Grounding Terhadap Resiko," 2019.
- [9] Wahyono, "Prosiding SNST ke-4 Tahun 2013 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang 1," pp. 1–6, 2012.
- [10] W. Budi Pramono, S. Suyamto, and D. Satriyo Prabowo, "Perancangan Grounding Untuk Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Di Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia," *Teknoin*, vol. 22, no. 2, pp. 1–8, 2016, doi: 10.20885/teknoin.vol22.iss2.art9.
- [11] L. Nyuykonge, "An Efficient Method for Electrical Earth Resistance Reduction Using Biochar," *Int. J. Energy Power Eng.*, vol. 4, no. 2, p. 65, 2015, doi: 10.11648/j.ijepe.20150402.17.
- [12] B. S. N. Standar Nasional Indonesia, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011)," *Dirjen Ketenagalistrikan*, vol. 2011, no. PUIL, pp. 1–133, 2011.
- [13] 4 IEEE Std 142-2007, "IEEE Std 142-2007 (Revision of IEEE Std 142-1991) IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems," vol. 2007, p. 225, 2007, [Online]. Available: <http://www.mercury-group.com/wp-content/uploads/2017/02/groundingandbonding.pdf>
- [14] M. Nazir, *Metode penelitian*. bogor: Ghalia Indonesia, 2005.
- [15] A. Syofian, "Sistem Pentanahan Grid Pada Gardu Induk Pltu Teluk Sirih," *J. Momentum ISSN 1693-752X*, vol. 14, no. 1, pp. 36–45, 2013.
- [16] I. G. N. Janardana, W. A. Wijaya, C. G. I. Partha, and N. Budiastra, "Analysis Grounding System as Building Equipment Security Udayana University Denpasar," *J. Electr. Electron. Informatics*, vol. 1, no. 2, p. 9, 2017, doi: 10.24843/jeei.2017.v01.i02.p03.