

SISTEM PENGENDALIAN RESISTANSI PEMBUMIAN OTOMATIS DAN AKURASI PENGUKURAN DENGAN ELEKTRODA GROUNDING GRID PADA PLTS

Arum Kusuma Wardhany¹⁾, Isdawimah²⁾, Gilang Maulana Iskandar³⁾,
Muhammad Fitra Juliansyah⁴⁾

email: arum.kusumawardhany@elektro.pnj.ac.id, isdawimah@elektro.pnj.ac.id,
gilang.maulanaiskandar.te20@mhs.w.pnj.ac.id, muhammad.fitrajuliansyah.te20@mhs.w.pnj.ac.id

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta

Ringkasan

Pengukuran dan pengendalian resistansi pembumian merupakan aspek penting dalam menjaga keamanan dan keandalan sistem tenaga listrik, terutama pada instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Performa sistem pembumian sangat bergantung pada kelembaban tanah yang dapat mempengaruhi resistansi tanah. Pengukuran dan pengendalian resistansi pembumian masih dilakukan secara manual sehingga nilai resistansi tidak termonitoring dengan tepat. Untuk menyelesaikan permasalahan itu, penelitian ini mengembangkan sistem pengendalian resistansi pembumian otomatis dengan memanfaatkan metode 3-pole-fall-of-potential. Sistem ini menggunakan sensor INA219 untuk mengukur arus dan modul ADS1115 untuk mengukur tegangan. Selain mengukur arus dan tegangan, sistem ini juga dilengkapi mekanisme penyuntikan air secara otomatis untuk menjaga kelembaban tanah dan menurunkan resistansi ketika melebihi ambang batas yang ditentukan, yaitu 5 Ω dengan histeresis $\pm 0,25 \Omega$. Sistem pengendalian besar resistansi berfungsi sesuai dengan yang direncanakan, yaitu secara manual dan otomatis. Dengan akurasi pengukuran menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki rata-rata akurasi sebesar 92,79% dengan persentase kesalahan rata-rata sebesar 7,21%, dibandingkan dengan alat ukur Earth Tester. Selain itu, penambahan air terbukti efektif dalam menurunkan resistansi tanah, terutama pada pengujian awal dengan penurunan resistansi sebesar 7,55% menggunakan sistem. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem pengendalian resistansi pembumian otomatis ini efektif dalam menjaga resistansi tanah sesuai persyaratan yang berlaku, serta memberikan kemudahan bagi operator dalam pengoperasian dan pemantauan melalui antarmuka IoT.

Kata Kunci : PLTS, Resistansi Pembumian, Kontrol Pembumian Otomatis, mikrokontroler.

1. PENDAHULUAN

Menurut UU No. 30 tahun 2009 tentang ketenagalistrikan, selain bermanfaat, listrik juga dapat membahayakan. Maka, untuk lebih menjamin keselamatan umum, keselamatan kerja, keamanan instalasi, dan kelestarian fungsi lingkungan dalam penyediaan tenaga listrik dan pemanfaatan tenaga listrik, instalasi tenaga listrik harus menggunakan peralatan dan perlengkapan listrik yang memenuhi standar peralatan di bidang ketenagalistrikan [1]. Salah satu upaya dalam menjamin keselamatan listrik adalah dengan pemasangan pembumian proteksi [2]. Sistem pembumian proteksi atau biasa disebut grounding adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan antara sistem, peralatan dan instalasi dengan bumi (ground). Sehingga dengan dipasangnya grounding dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik, dan mengamankan instalasi peralatan dari bahaya tegangan atau arus yang abnormal. Oleh karena itu sistem pembumian proteksi menjadi bagian penting dari sistem tenaga listrik [3].

Sistem pembumian (seperti Rod, Mesh, dan grid) sangat berpengaruh dalam menurunkan besarnya resistansi. Akan tetapi, performa sistem pembumian jenis apapun sangat bergantung pada kelembaban. Hal itu disebabkan karena kelembaban mempengaruhi tahanan jenis tanah, dimana perubahan dari sedikitnya jumlah air didalam tanah akan mempengaruhi besarnya tahanan jenis tanah

[4]. Secara tidak langsung, performa sistem pembumian juga dipengaruhi oleh musim. Ketika musim penghujan resistansinya akan terpenuhi, akan tetapi ketika musim kemarau umumnya resistansinya akan naik.

Pada Lapangan Bengkel Jurusan Teknik Elektro terdapat PLTS yang memerlukan sistem pembumian untuk memberikan keamanan yang memadai dan untuk menghindari kegagalan pada sistem PV sel surya, dipasang proteksi ground fault [5]. Tipe pembumian yang digunakan yaitu tipe grid karena efektif dalam menurunkan besarnya resistansi dibandingkan tipe pembumian lainnya dan cocok pada jenis tanah berbatu [6]. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan sistem untuk memenuhi kebutuhan tersebut.

Sistem pembumian yang dikembangkan akan mengukur besar resistansi dan dikendalikan dengan cara menyuntikkan air secara otomatis ke dalam sistem yang terpasang ketika resistansinya naik di atas ambang batas yang diijinkan. Pengendalian menyuntikkan air secara otomatis bertujuan untuk menjaga kelembaban yang berpengaruh dalam menentukan besar resistansinya. Sistem pengukuran resistansi pembumian ini menggunakan metode *3-pole-fall-of-potential* dengan memanfaatkan IoT dan monitoring menggunakan kodular agar lebih memudahkan tenaga kerja manusia. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dibahas mengenai pengendalian resistansi pembumian otomatis dengan elektroda grounding grid pada PLTS dengan tujuan optimalisasi pengendalian resistansi pembumian.

2. KAJIAN PUSTAKA

Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan pada Kevin Sambeka dan kawan – kawan, peneliti melakukan perancangan alat Pengukur Tahanan Pembumian Dengan Media Penyimpanan Database (Earth tester), dimana sistem yang akan dirancang menggunakan Arduino [7]. Prinsip kerja dari alat ukur ini yaitu mengukur resistansi dengan menggunakan tiga batang elektroda masing-masing Elektroda E, Elektroda P, dan Elektroda C . Dengan jarak antar elektroda 5 meter sampai 10 meter. Hasil pengukurannya akan dikirim ke database menggunakan internet. Peneliti hanya berfokus pada hasil pengukuran resistansi dengan alat yang dibuat, hasil pengukurannya sebagai monitoring (pemantauan) tahanan pembumian yang akan dikirim ke database menggunakan internet melalui aplikasi blynk.

Lalu penelitian yang dilakukan oleh Wahyu Suganda dan kawan – kawan, peneliti melakukan perancangan alat Sistem Pemantauan dan Pengendalian Nilai Tahanan Tanah Berbasis Mikrokontroler Arduino [8]. Peneliti hanya berfokus pada nilai tahanan tanah yang dapat terukur dan diturunkan secara bertahap dengan pengontrolan penambahan zat aditif dengan bantuan sensor ultrasonik dan sistem monitoring (pemantauan) dapat dilakukan menggunakan lcd sebagai penampil monitoring nilai tahanan yang terbaca dan menggunakan GSM SIM yang difungsikan memberikan informasi bila terjadi penurunan jumlah zat aditif dalam drum air berupa pesan sms yang dikirimkan ke operator.

Pada penelitian pertama yang dilakukan pada Kevin Sambeka dan kawan – kawan sudah terhubung pada konsep IoT tetapi alat yang dirancang hanya untuk sistem pemantauan lewat aplikasi blynk. Pemantauan yang dilakukan berdasarkan pengukuran resistansi menggunakan tiga batang elektroda dan hasil pengukurannya akan dikirim ke database menggunakan internet. Kelebihannya memudahkan operator melihat nilai hasil pengukuran resistansi melalui aplikasi blynk. Dan kekurangannya tidak adanya sistem kontrol pengendalian tahanan tanahnya.

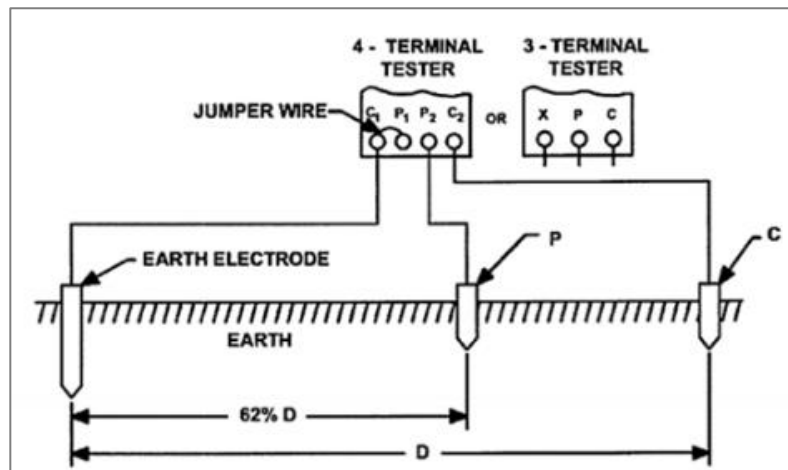
Lalu penelitian kedua yang dilakukan oleh Wahyu Suganda dan kawan – kawan menginovasi penelitiannya dengan menggabungkan sistem monitoring (pemantauan) dan kontrol. Tetapi tidak menggunakan aplikasi blynk untuk sistem interface (antar muka) nya. Penelitian kedua menggunakan mikrokontroler arduino uno untuk cara kerja dari sistem ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu pengontrolan tahanan tanah dan monitoring volume zat aditif. Kelebihan alat tersebut sudah menggabungkan sistem monitoring (pemantauan) dan kontrol. Dan kekurangannya tidak adanya sistem interface (antar muka) atau aplikasi yang bisa memudahkan operator untuk memantau dan mengontrol alat tersebut.

Berdasarkan penelitian terdahulu yang telah dikembangkan, penelitian ini dilakukan dengan memadukan kelebihan yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya dan menambahkan fitur yang belum dilakukan pada penelitian sebelumnya. Penambahan fitur itu yang dilakukan adalah

penambahan fitur antarmuka (*interface*) untuk memberikan kemudahan proses monitoring bagi operator termasuk fitur untuk pemilihan opsi Kontrol otomatis dan manual melalui aplikasi *Blynk*.

Metode Pengukuran

Sistem pengukuran resistansi ini menggunakan metode *3-pole-fall-of-potential*. Dalam metode ini tiga titik kontak pembumian digunakan, pertama adalah elektroda pembumian yang diuji (COM), kedua adalah Probe Arus (C) yang ditempatkan agak jauh dari sistem pembumian yang diuji, dan seperti terakhir adalah Probe Tegangan (P), seperti diperlihatkan pada gambar 1 [9].



Gambar 1 Metode Pengukuran Fall of Potential

Besaran akurasi pengukuran sistem dapat di peroleh dari persamaan berikut,

$$\text{Persentase Akurasi} = 100\% - \text{Persentase Error} \quad (1)$$

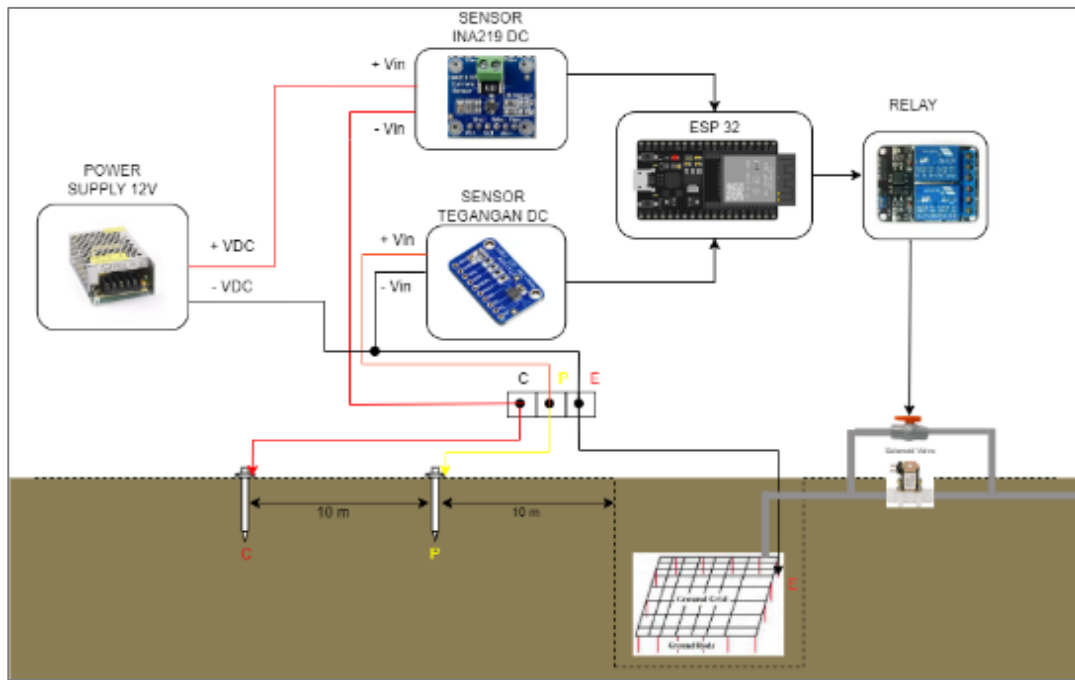
Dengan,

$$\text{Persentase Error} = \frac{\text{Total Persentase Error}}{\text{Total Percobaan}} \times 100\%$$

3. METODE PENELITIAN

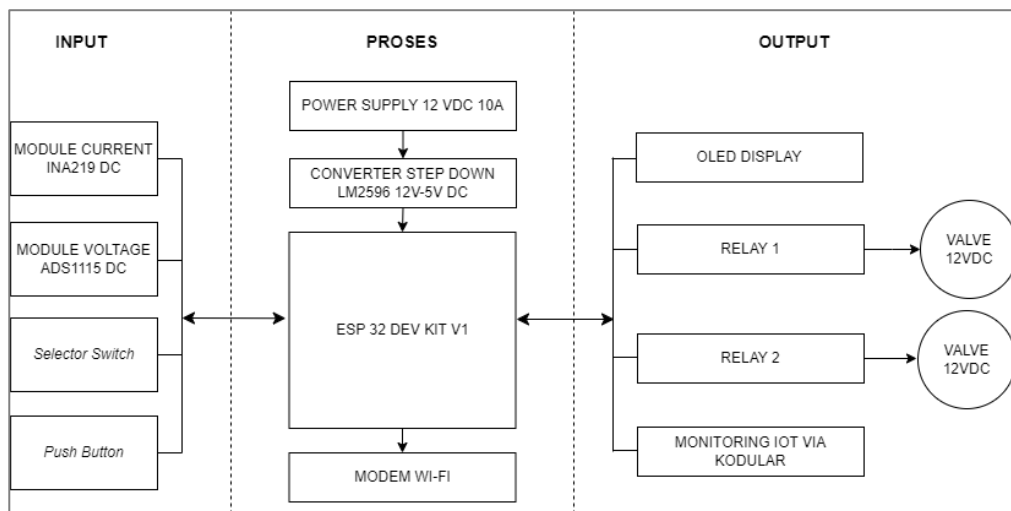
Deskripsi Alat

Sistem pengendali ini dirancang untuk mengendalikan besar resistansi yang terukur dengan menggunakan kontrol mikrokontroler yang dapat dikendalikan dan dipantau dari aplikasi Kodular. Sistem ini menggunakan metode tiga potensial, memanfaatkan sensor INA219 untuk mengukur besaran arus pada elektroda C dan modul ADS1115 untuk mengukur besaran tegangan pada elektroda P dan E dengan system *close loop* [10].



Gambar 2 Konfigurasi Pengukuran Sistem

Sistem pengendalian besar resistansi ini dirancang sebaik mungkin agar mampu bekerja dengan optimal. Gambar 2 dan gambar 3 menunjukkan blok diagram dan konfigurasi pengukuran yang dilakukan sistem. Input pengukuran dilakukan oleh sensor – sensor (INA 219 dan tegangan) serta selector switch, data hasil pengukuran yang diterima sensor akan diterima oleh ESP 32 dan akan memicu relay 1 dan relay 2 serta meneruskan datanya pada sistem display sebagai output.

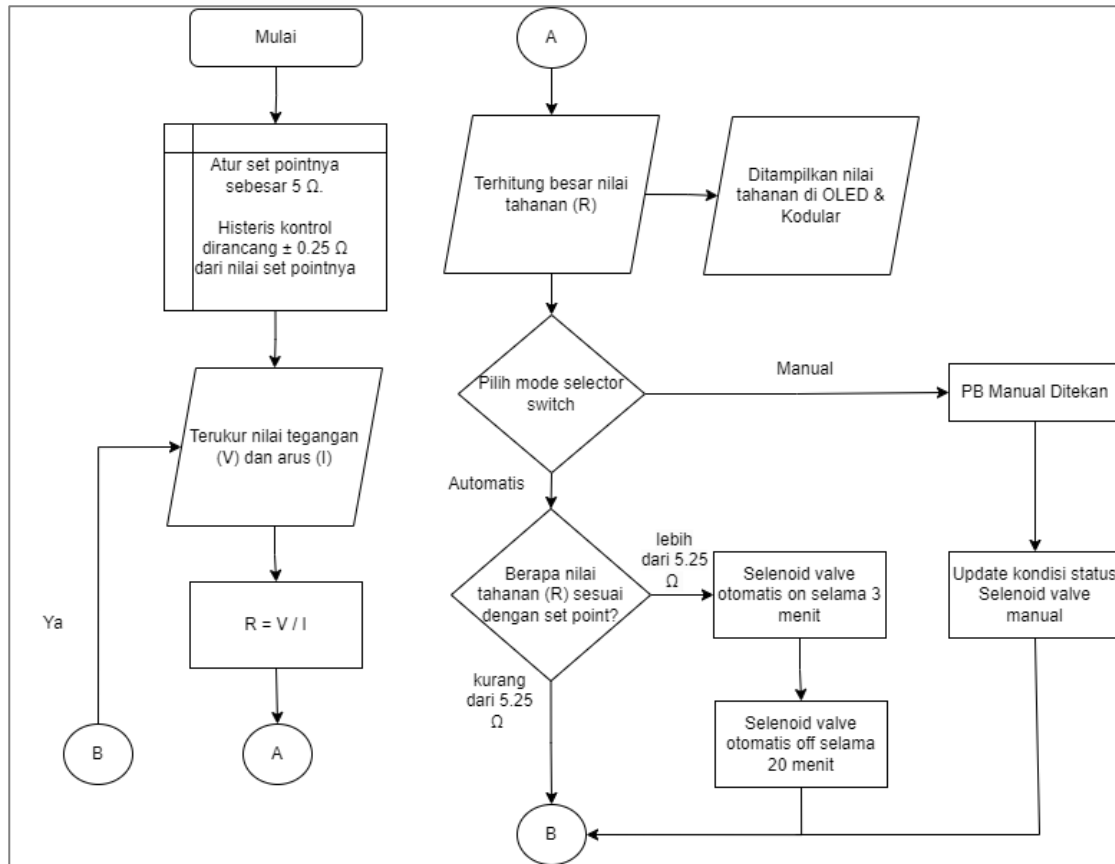


Gambar 3 Diagram Blok

Cara Kerja Alat

Sistem ini dimulai dengan mengatur set point sistem sebesar 5Ω dengan histeresis kontrol dirancang $\pm 0.25 \Omega$ dari nilai set point. Kemudian, sistem akan mengukur nilai tegangan (V) dengan menggunakan module ADS 1115 dan mengukur nilai arus (I) dengan menggunakan module INA 219. Setelah nilai tegangan dan arus terbaca, maka sistem akan menghitung nilai resistansi (R) dengan rumus hukum ohm. Nilai tahanan (R) kemudian ditampilkan di OLED dan Kodular oleh sistem. Lalu, pengguna harus memilih mode selector switch: Manual atau Otomatis. Jika mode manual dipilih, pengguna akan menekan tombol PB Manual. Setelah tombol ditekan, air akan mengalir pada elektroda utama. Lalu, pengguna perlu menekan tombol PB Manual sekali lagi untuk menghentikan aliran air

pada elektroda utama. Selanjutnya, sistem manual akan berulang. Selain itu, pada sistem otomatis besar resistansi tersebut akan dikendalikan dengan cara menyuntikan air selama kurun waktu tertentu dengan set point 5 Ω. Lalu, histeris kontrol dirancang ± 0.25 ohm dari nilai set point. Besaran resistansi yang dihitung, diberikan dua opsi yaitu jika nilai tahanan lebih besar dari histeris kontrol yang dirancang 5.25 Ω, maka solenoid valve akan membuka katup keran sehingga mengalirkan air ke dalam elektroda utama dan berhenti setelahnya. Jika nilai tahanan terhitung lebih kecil dari histeris kontrol yang dirancang maka solenoid valve tidak bekerja. Detail cara kerja alat dalam bentuk flowchart ditampilkan dalam Gambar 4.



Gambar 4 Flowchart Alat

Realisasi Alat

Berikut ini adalah koneksi module INA 219, module ADS 1115, dan OLED *display* yang digunakan dalam menentukan besaran arus, tegangan dan tampilan interface secara offline, dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Koneksi Node MCU ESP 32 dan Module INA 219

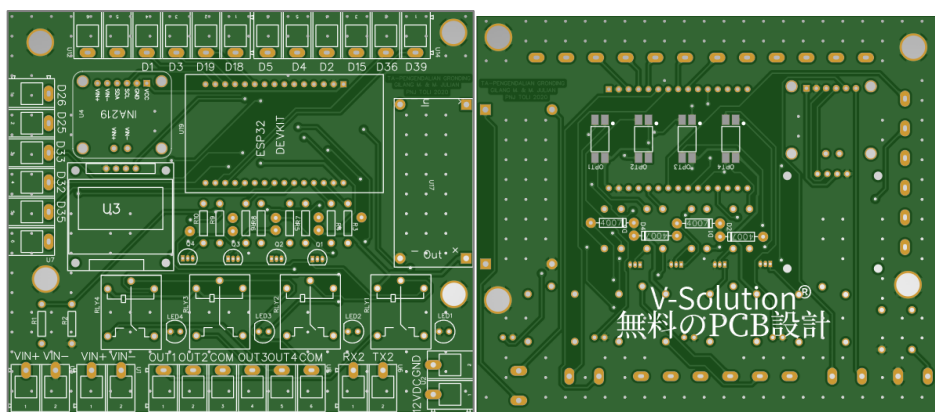
No	Pin Module	Koneksi Node MCU ESP 32
1	VCC	VCC ESP 32
2	GND	GND ESP 32
3	SDA	GPIO 21
4	SCL	GPIO 22

Berikut ini adalah koneksi module module relay yang digunakan untuk mengontrol output digital dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Koneksi Node MCU ESP 32 dan Module Relay

No	Pin RELAY	Koneksi Node MCU ESP 32
1	VCC	VCC ESP 32
2	GND	GND ESP 32
3	IN1	GPIO 13
4	IN2	GPIO 12
5	IN3	GPIO 14
6	IN4	GPIO 27

Koneksi tersebut nantinya akan dikonversi menjadi *schematic* PCB yang nantinya akan dicetak sebagai jalur controller. Gambar 5 merupakan tampilan dari *schematic* yang sudah di *convert* menjadi PCB.



Gambar 5 Schematic PCB Sistem

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengendalian Secara Manual dan Otomatis

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, sistem ini memiliki dua mode operasi kendali yakni **mode otomatis** dan **mode manual**. Mode otomatis bekerja dengan memanfaatkan hasil pengukuran berdasarkan besaran resistansi yang dihasilkan untuk mengaktifkan *solenoid valve*. Dalam mode ini, ketika resistansi tanah melebihi atau berada di bawah ambang batas yang telah ditetapkan, *solenoid valve* akan secara otomatis membuka atau menutup untuk mengatur aliran air. Sementara, mode manual memungkinkan operator untuk mengambil kendali langsung atas *solenoid valve*. Dengan menggunakan input dari *push button* pada panel, operator dapat membuka atau menutup solenoid valve sesuai kebutuhan. Tabel 3 dan 4 menunjukkan hasil pengujian relay berdasarkan mode operasi tersebut.

Tabel 3 Data Pengujian Pengendalian Relay Manual Berdasarkan Push Button

Keterangan	Bit Logic Relay 1	Status Relay 1	Kondisi
Push button Sebelum Ditekan	0	OFF	Normal
Push button Ditekan	1	ON	Normal
Push button Ditekan	0	OFF	Normal
Push button Ditekan	1	ON	Normal
Push button Ditekan	0	OFF	Normal
Push button Ditekan	1	ON	Normal
Push button Ditekan	0	OFF	Normal
Push button Ditekan	1	ON	Normal
Push button Ditekan	0	OFF	Normal

Tabel 4 Data Pengujian Pengendalian Relay Otomatis Berdasarkan Nilai Set Point

Waktu	Tegangan (V)	Arus (mA)	Resistansi (Ω)	Bit Logic Relay 2	Status Relay 2
25/07/2024 08:00	0.17	31.7	5.27	0	OFF
25/07/2024 08:13	0.17	31.7	5.27	0	OFF
25/07/2024 08:13	0.17	31.8	5.28	1	ON
25/07/2024 08:16	0.17	31.8	5.28	1	ON
25/07/2024 08:16	0.17	31.8	5.28	0	OFF
25/07/2024 08:36	0.17	31.8	5.28	0	OFF
25/07/2024 08:36	0.16	30.2	5.43	1	ON
25/07/2024 08:39	0.16	30.2	5.43	1	ON

Berdasarkan tabel 3, pengujian pengendalian relay manual dan otomatis menunjukkan bahwa kedua metode pengendalian relay bekerja sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Pada pengendalian manual, yang diaktivasi melalui push button, terlihat bahwa setiap kali tombol ditekan, bit logika Relay 1 berubah dari 0 menjadi 1 dan sebaliknya, mengindikasikan bahwa relay beralih antara status ON dan OFF sesuai perintah pengguna. Hal ini menunjukkan bahwa pengendalian relay manual berfungsi dengan baik dan normal tanpa adanya kegagalan dalam aktivasi maupun deaktivasi. Berdasarkan tabel 4, pengendalian otomatis yang didasarkan pada perubahan resistansi, data menunjukkan bahwa relay merespons perubahan resistansi sesuai dengan nilai set point dan histeris kontrol sebesar 5.25Ω . Setiap kali resistansi mencapai nilai lebih dari 5.25Ω , bit logika Relay 2 berubah, mengakibatkan perubahan status relay dari OFF ke ON dengan durasi relay otomatis menyala selama 2 menit. Setelah itu, relay otomatis akan mati selama 20 menit. Pengendalian otomatis ini menunjukkan bahwa relay mampu merespons perubahan resistansi dengan tepat dan memastikan bahwa sistem bekerja sesuai dengan flowchart/ deskripsi kerja yang direncanakan.

Akurasi Pengukuran Sistem

Penentuan akurasi sistem dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran secara manual menggunakan earth tester dengan hasil pengukuran sistem yang dibuat dengan metode pengukuran yang sama yakni metode *3-pole-fall-of-potential*. Berdasarkan perhitungan dalam tabel 5 di bawah, kalibrasi rata-rata pengukuran sistem diperoleh sebagai berikut.

Tabel 5 Akurasi Pengukuran Sistem

No.	Hasil Pengukuran Earth Tester	Hasil Pengukuran Sistem	Perbedaan	Persentase Error
1.	5.50 Ω	5.70 Ω	0.20	3.64%
2.	5.26 Ω	5.30 Ω	0.04	0.76%
3.	5.38 Ω	5.60 Ω	0.22	4.09%
4.	5.32 Ω	5.18 Ω	0.14	2.63%
5.	5.14 Ω	5.48 Ω	0.34	6.61%
6.	4.98 Ω	4.85 Ω	0.13	2.61%
7.	5.51 Ω	5.26 Ω	0.25	4.54%
8.	5.49 Ω	5.25 Ω	0.24	4.37%
9.	5.48 Ω	5.22 Ω	0.26	4.74%
10.	5.49 Ω	5.29 Ω	0.20	3.64%

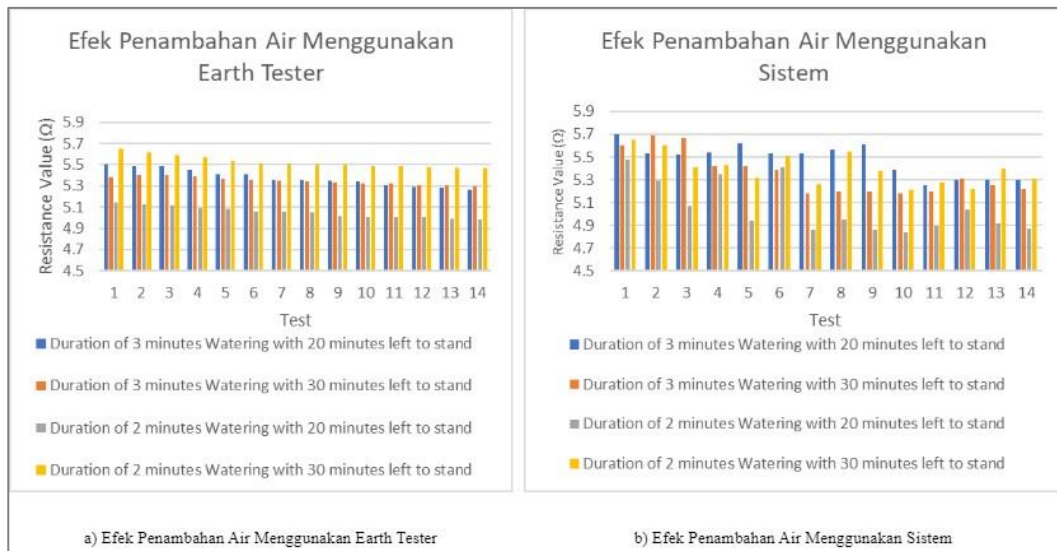
Berdasarkan perhitungan dalam tabel di atas, kalibrasi rata-rata diperoleh sebagai berikut.

$$\frac{\text{Total Persentase Error}}{\text{Total Percobaan}} = \frac{72,17\%}{10} = 7,21\%$$

Jadi, akurasi pengukuran nilai tahanan pembumian dengan rata-rata adalah $100\% - 7,21\% = 92,79\%$. Berdasarkan perhitungan akurasi alat pengukuran ini cukup baik dan dapat digunakan dalam pengambilan data. Berdasarkan hasil pengujian dan analisa, sistem pengukuran pembumian yang dikembangkan menunjukkan kinerja yang cukup akurat dibandingkan dengan *Earth Tester*. Selisih antara pengukuran *Earth Tester* dan sistem berkisar antara 0.04 Ω hingga 0.34 Ω, dengan persentase kesalahan berkisar antara 0.76% hingga 6.61%. Sebagai contoh, pada pengujian pertama, *Earth Tester* mencatat resistansi 5,50 Ω, sedangkan sistem menunjukkan 5,70 Ω, sehingga menghasilkan selisih 0,20 Ω dan persentase kesalahan 3,64%. Perbedaan terbesar terjadi pada pengujian kelima dengan selisih 0,34 Ω dan persentase kesalahan tertinggi sebesar 6,61%. Di sisi lain, selisih terkecil sebesar 0,04 Ω dengan persentase kesalahan 0,76% terjadi pada pengujian kedua, yang menunjukkan tingginya ketepatan sistem yang dirancang. Secara keseluruhan, dengan akurasi sistem pengukuran yang mencapai 92,79%, sistem ini mampu memonitoring resistansi pembumian dengan cukup akurat dan konsisten.

Analisis Penambahan Variabel Air

Dalam pengujian efek penambahan air, pengukuran resistansi tanah dilakukan dengan menggunakan alat penguji arde dan sistem secara otomatis pada variasi waktu 2 menit dan 3 menit. Sesuai dengan fitur sistem yang dibuat, pada mode otomatis, sistem akan mengalirkan alir kedalam tanah jika hasil pengukuran resistansi menunjukkan nilai diatas ambang batas 5 Ω. Dari hasil pengukuran tersebut, dapat dianalisis pengaruh penambahan air terhadap penurunan resistansi dan akurasi pengukuran.



Gambar 6 Grafik Penambahan Air : a) Efek Penambahan Air Menggunakan Earth Tester b) Efek Penambahan Air Menggunakan Sistem

Berdasarkan gambar 6, penambahan air secara bertahap dan periode pendiaman memberikan kontribusi yang signifikan terhadap penurunan nilai resistansi tanah. Penurunan resistensi terbesar terjadi pada pengukuran Sistem, yang mengindikasikan bahwa metode ini efektif dalam menurunkan resistensi tanah. Akurasi pengukuran rata-rata menunjukkan peningkatan selama proses penambahan air dan periode pendiaman, dengan akurasi yang cukup baik. Secara keseluruhan, penambahan air meningkatkan pengurangan resistansi tanah dan paling efektif pada pengujian pertama yaitu sebesar 4% untuk penguji arde dan 7,55% untuk sistem. Hasil pengukuran sistem cukup baik namun cenderung fluktuatif karena hasil penurunan besar resistensi tidak terlalu signifikan. Jadi, pada kondisi tertentu tidak terlalu terlihat bahwa resistansi meningkat atau menurun. Selain itu, pengujian awal ke-1, ke-2, ke-3, dan ke-4 dimulai dari ukuran resistansi yang berbeda. Pada awal pengujian ke-4, jumlah resistensi meningkat dibandingkan dengan awal pengujian ke-3. Hal ini dikarenakan pada selang waktu antara pengujian ke-3 dan ke-4 tidak ada penambahan air dan mempengaruhi kelembaban tanah pada sistem pembumian.

5. KESIMPULAN DAN SARAN-SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tersebut, dapat disimpulkan sistem pengendalian besar resistansi berfungsi sesuai dengan yang direncanakan, yaitu dapat mengukur hasil resistansi dan dapat menghidupkan solenoid valve secara manual dan otomatis berdasarkan set point. Dengan rata-rata akurasi sistem pengukuran mencapai 92,79% dengan persentase kesalahan rata-rata sebesar 7,21%. Perbedaan nilai resistansi yang terukur berkisar antara 0,04 Ω hingga 0,34 Ω, dan persentase kesalahan antara 0,76% hingga 6,61%, yang menunjukkan bahwa sistem mampu memonitor resistansi tanah dengan baik dan konsisten. Selain itu, analisis penambahan air menunjukkan bahwa peningkatan kelembaban tanah melalui penambahan air dapat menurunkan resistansi tanah secara signifikan, terutama pada pengujian pertama dengan penurunan sebesar 7,55% untuk sistem dan 4% untuk Earth Tester. Namun, hasil pengukuran cenderung fluktuatif, terutama ketika tidak ada penambahan air setelah waktu tertentu, yang mengindikasikan bahwa kelembaban tanah mempengaruhi nilai resistansi secara signifikan. Secara keseluruhan, sistem monitoring yang dibuat memiliki akurasi yang cukup baik dan dapat menjawab kebutuhan untuk pemantauan resistansi pembumian yang berkesinambungan.

Saran

Pengembangan sistem pengendalian resistansi pembumian otomatis dapat dilakukan pada beberapa aspek yakni :

1. Penggunaan variasi jenis bahan aditif yang terinstal pada sistem dan variasi komposisi zat misalnya campuran larutan garam, zat bentonite.

2. Penambahan sensor kelembapan tanah pada sistem untuk memantau Tingkat kelembapan tanah pada titik pembedaan terpasang.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Persyaratan Umum Instalasi Listrik. 2011. Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011). *DirJen Ketenagalistrikan*, vol. 2011, no. PUIL, page 1–133.
2. Ardian Burhandono and N. Sinaga. 2022. Menjaga Keandalan Sistem PLTS dengan Metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA). *J. Tek. Ind.*, vol. 12, no. 1, page 30–39.
3. D. S. Kusuma. 2016. Analisa Perbedaan Tahanan Tanah Di Musim Hujan Dan Kemarau Pada Pentanahan Jaringan Tegangan Rendah di Daerah Bukittinggi. *MENARA Ilmu*, vol. X, no. 73, page 179–180.
4. D. S. Pillai and N. Rajasekar. 2018. A Comprehensive Review On Protection Challenges and Fault Diagnosis in PV Systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.* [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118301758>.
5. R. Diamanis, H. Tumaliang, & F. Lisi. Analisa Jarak Paralel Antara Konduktor Sistem Grounding Grid PLTP Lahendong Unit.
6. K. Sambeka, G. Mangindaan, & S. Silimang. 2022. Pengukur Tahanan Pembedaan Dengan Media Penyimpanan Database. *Univ. Sam Ratulangi Manad*.
7. Wahyu Suganda, haerul Pathoni, and Samratul Fuady. 2022. Sistem Pemantauan Dan Pengendalian Nilai Tahanan Tanah Berbasis Mikrokontroler Arduino. *Tek. Elektro*, vol. 4, no. 1, page 1–7.
8. Soebardjo, Achmad. 2022. Sistem Monitor dan Pengendalian Resistansi Pembedaan Tipe Mesh Gardu Portal Tegangan Menengah.
9. Putranto, Juni, Naili Saidatin, Hasan Syafik Maulana, & Desmas Arifianto Patriawan. 2023. Analisis Ekperimental Sistem Kontrol Otomatis Pada Pengisian Air Berbasis Rangkaian Close Loop dan Open Loop. *Senastitan Iii 2 (2) (Senastitan Iii)*: 1–6.