



SEMINAR NASIONAL FISIKA DAN GEOFISIKA IV

*"Frontier of Physics and Geophysics: Advancing Sustainable Innovations
Through Environmental Tropical Rain Forest Dynamic and Equatorial
Phenomena"*



Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Mulawarman



Rancang Bangun Voltmeter Digital Berbasis Arduino Uno

Syahrir^{1,2)}, Ido Merdekawati¹⁾

¹⁾Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika

²⁾Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

*idomerdekawati@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem voltmeter digital berbasis mikrokontroler Arduino Uno dengan memanfaatkan fitur *Analog-to-Digital Converter* (ADC) untuk konversi sinyal analog ke digital. Desain sistem terdiri dari modul LCD 16x2 sebagai antarmuka tampilan, resistor 150 ohm sebagai pembatas arus, potensiometer untuk regulasi kontras LCD, dan kabel jumper sebagai interkoneksi komponen. Metode pengukuran dilakukan melalui akuisisi sinyal tegangan menggunakan probe yang terhubung ke pin analog A0 Arduino. Hasil pengujian akurasi sistem menunjukkan performa yang presisi. Pada pengukuran tegangan keluaran Arduino Uno di pin 5V dan 3.3V, diperoleh nilai error 0%, mengindikasikan konsistensi yang sempurna. Sementara itu, pengujian pada sumber eksternal berupa baterai 1.5V menghasilkan tegangan rata-rata 1.48V dengan error 1.33%, dan baterai 3V menghasilkan 3.03V dengan error 0.99%. Analisis menunjukkan bahwa deviasi pada baterai disebabkan oleh kondisi baterai yang telah digunakan sebelumnya serta faktor konektivitas probe. Kelebihan sistem ini meliputi kecepatan respons, ketahanan terhadap interferensi elektromagnetik, dan kemudahan pembacaan hasil pengukuran. Namun, dari aspek biaya, implementasi prototipe ini relatif lebih tinggi dibandingkan voltmeter analog konvensional. Aplikasi voltmeter digital ini efektif untuk pengukuran rangkaian elektronik bertegangan rendah di bawah 5 volt, sehingga berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut dalam konteks instrumentasi pendidikan dan laboratorium elektronika dasar.

Kata Kunci : Voltmeter, Arduino Uno, ADC, Prototipe

Abstract

This research aims to design and implement a digital voltmeter system based on the Arduino Uno microcontroller, leveraging its built-in Analog-to-Digital Converter (ADC) for signal conversion. The system design incorporates a 16x2 LCD module as the display interface, a 150-ohm resistor as a current limiter, a potentiometer for LCD contrast regulation, and jumper wires for component interconnection. The measurement methodology involves voltage signal acquisition using probes connected to the Arduino's analog pin A0. Accuracy testing results demonstrated precise system performance. Measurements of the Arduino Uno's output voltage at the 5V and 3.3V pins yielded a 0% error, indicating perfect consistency. Meanwhile, testing on external sources showed an average voltage of 1.48V with a 1.33% error for a 1.5V battery, and 3.03V with a 0.99% error for a 3V battery. Analysis indicates that the deviations in battery measurements were caused by the prior usage condition of the batteries and probe connectivity factors. The system's advantages include rapid response, resilience to electromagnetic interference, and ease of reading measurement results. However, in terms of cost, the implementation of this prototype is relatively higher compared to conventional analog voltmeters. This digital voltmeter is effective for measuring low-voltage electronic circuits below 5 volts, showing significant potential for further development in educational instrumentation and basic electronics laboratory contexts.

Keywords: Voltmeter, Arduino Uno, ADC, Prototype.

Pendahuluan

Perkembangan pesat dalam bidang elektronika dan instrumentasi digital telah mendorong inovasi dalam perancangan alat ukur yang lebih akurat, andal, dan terjangkau. Tegangan listrik sebagai salah satu parameter fundamental dalam rangkaian elektronik memerlukan alat ukur yang mampu memberikan hasil yang presisi dan mudah diinterpretasi. Voltmeter analog konvensional, meskipun telah lama digunakan, memiliki keterbatasan inherent seperti kesalahan paralaks, rendahnya impedansi input, dan ketergantungan pada kalibrasi mekanis (Helfrick & Cooper, 2016). Transisi ke voltmeter digital menawarkan solusi atas keterbatasan ini dengan menampilkan hasil pengukuran secara numerik langsung, sehingga meningkatkan keakuratan dan kecepatan pembacaan.

Kemajuan dalam teknologi mikrokontroler telah membuka peluang bagi realisasi sistem pengukuran digital yang hemat biaya dan sangat dapat disesuaikan (customizable). Dalam konteks ini, platform Arduino Uno emerged sebagai platform yang ideal untuk prototipe instrumentasi elektronik, berkat sifatnya yang open-source, komunitas pengguna yang luas, dan kelengkapan

fitur yang memadai, termasuk Analog-to-Digital Converter (ADC) internal yang memungkinkan akuisisi sinyal analog (Banzi & Shiloh, 2014). Penelitian sebelumnya oleh Budi et al. (2021) telah mendemonstrasikan kelayakan Arduino Nano dalam membangun multimeter digital berbiaya rendah, yang menekankan aspek keterjangkauan. Sementara itu, Pratomo & H. (2020) berfokus pada optimasi kinerja ADC Arduino Uno untuk aplikasi pengukuran yang presisi, mengidentifikasi faktor-faktor seperti noise catu daya dan kebutuhan kalibrasi sebagai kunci akurasi. Namun, sebagian besar studi terdahulu cenderung berfokus pada aspek desain sistem yang kompleks atau optimasi komponen tertentu, seringkali tanpa menyajikan analisis error yang komprehensif terhadap performa sistem secara keseluruhan ketika mengukur sumber tegangan riil, seperti baterai dalam kondisi berbeda. Terdapat celah antara implementasi dasar dan analisis mendalam mengenai sumber ketidakpastian dalam sistem Arduino-based voltmeter, terutama yang berkaitan dengan karakteristik sumber sinyal eksternal. Penelitian oleh Sari et al. (2023) mengonfirmasi bahwa tegangan terminal baterai merupakan indikator yang dinamis terhadap State of Charge (SOC)-nya, yang menyiratkan bahwa pengukuran tegangan baterai yang akurat harus mempertimbangkan kondisi riil baterai, sebuah faktor yang sering diabaikan dalam kalibrasi prototipe.

Berdasarkan kajian literatur tersebut, kebaruan ilmiah dari naskah ini terletak pada pendekatan integratif yang tidak hanya mereplikasi desain voltmeter digital berbasis Arduino Uno, tetapi juga menyajikan analisis kuantitatif yang mendalam terhadap akurasi dan presisi sistem, dengan fokus khusus pada performanya dalam mengukur sumber tegangan DC riil (baterai) dibandingkan dengan sumber tegangan referensi internal (pin Arduino). Penelitian ini secara eksplisit menginvestigasi dan mengkuantifikasi kontribusi faktor-faktor eksternal, seperti kondisi baterai dan konektivitas probe, terhadap error pengukuran, yang seringkali menjadi titik kelemahan dalam prototipe sederhana.

Permasalahan penelitian yang diangkat adalah: "Seberapa akurat dan presisi voltmeter digital berbasis Arduino Uno dalam mengukur tegangan dari sumber referensi internal dan sumber eksternal (baterai), serta faktor-faktor apa saja yang signifikan mempengaruhi ketidakpastian pengukurannya?" Hipotesis penelitian ini adalah bahwa voltmeter digital berbasis Arduino Uno mampu mencapai akurasi yang sangat tinggi pada pengukuran sumber tegangan

referensi internal, namun akan menunjukkan deviasi yang signifikan dan terukur ketika digunakan pada baterai riil, yang disebabkan oleh kombinasi faktor kondisi baterai dan noise pada sistem akuisisi data.

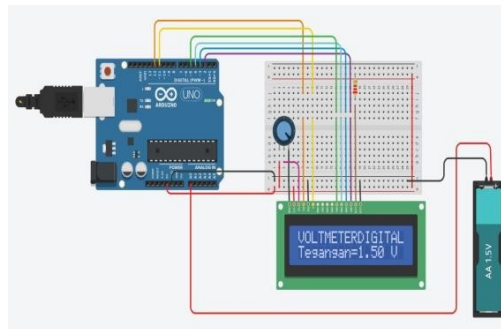
Berdasarkan latar belakang, identifikasi celah pengetahuan, dan perumusan masalah di atas, tujuan dari kajian ini adalah Merancang dan mengimplementasikan prototipe voltmeter digital yang memanfaatkan mikrokontroler Arduino Uno dan modul LCD 16x2, Menganalisis kinerja sistem dengan menguji akurasi dalam mengukur tegangan referensi internal Arduino (5V dan 3.3V) serta tegangan dari sumber eksternal (baterai 1.5V dan 3V) serta Mengidentifikasi dan menganalisis sumber-sumber error yang mempengaruhi hasil pengukuran, khususnya pada sumber tegangan eksternal.

Metode Penelitian

Penelitian dan perakitan prototipe ini dilaksanakan pada bulan Juni 2022 di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman, Samarinda, Kalimantan Timur. Tahap pengujian dan akuisisi data dilakukan dalam kondisi lingkungan laboratorium terkendali (suhu ruang: $25 \pm 2^\circ\text{C}$).

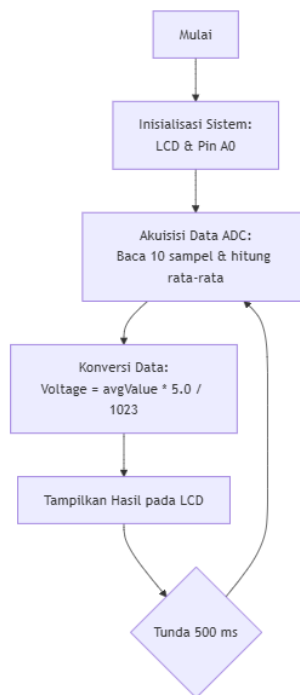
Prototipe voltmeter digital ini dirancang menggunakan komponen dan perangkat keras seperti Mikrokontroler (Arduino Uno R3) yang berfungsi sebagai unit pemroses utama dengan modul ADC 10-bit (resolusi ~ 4.9 mV pada rentang 5V), LCD Karakter 16x2 dengan antarmuka parallel 4-bit, digunakan sebagai antarmuka visual untuk menampilkan nilai tegangan terukur, Resistor 150 ohm ($\pm 5\%$), berfungsi sebagai pembatas arus untuk melindungi pin I/O Arduino, Potensiometer 10 k Ω , digunakan untuk mengatur tingkat kontras (bias) tegangan pada modul LCD, Kabel jumper male-to-male dan male-to-female untuk interkoneksi antarkomponen pada project board, Kabel USB tipe-A to B untuk menghubungkan Arduino ke komputer, berfungsi sebagai sumber daya dan untuk mengunggah program (uploading), Project board (breadboard) sebagai media perakitan dan pengujian rangkaian sementara, Arduino Integrated Development Environment (IDE) versi 1.8.x, yang digunakan untuk penulisan kode (sketch), kompilasi, dan pengunggahan program ke mikrokontroler. Serta Instrumentasi Validasi : Sebuah multimeter digital komersial digunakan sebagai perangkat pembandingan (benchmark) untuk mengukur nilai tegangan sebenarnya (true value) dari sumber yang diuji, guna menghitung error pengukuran prototipe.

Alur sistem secara keseluruhan dapat direpresentasikan dalam diagram blok. Sinyal tegangan DC dari Device Under Test (DUT) diakuisisi oleh probe pengukuran. Sinyal analog ini kemudian dikondisikan (dibatasi arusnya oleh resistor) sebelum dibaca oleh pin ADC (A0) Arduino Uno. Mikrokontroler kemudian memproses sinyal digital hasil konversi, melakukan kalkulasi untuk mengonversi nilai ADC menjadi nilai tegangan dalam volt. Hasil perhitungan akhir ditampilkan secara real-time pada modul LCD 16x2. Rangkaian elektronik prototipe dirangkai sesuai dengan skematik pada Gambar 2. Pin-pin digital Arduino (7, 8, 9, 10, 11, 12) dihubungkan ke pin kontrol dan data LCD (RS, EN, D4, D5, D6, D7). Probe positif dari DUT dihubungkan ke pin analog A0 melalui resistor pembatas arus 150 ohm, sedangkan probe negatif dihubungkan ke pin Ground (GND) Arduino. Modul LCD diberi daya 5V dari pin VCC Arduino, dengan kontras diatur oleh potensiometer yang terhubung ke pin VEE.



Gambar 1 : Skema Rangkaian Voltmeter Digital Berbasis Arduino Uno

Alur logika pemrograman (algorithm) yang diimplementasikan dalam mikrokontroler dapat diuraikan sesuai dengan Diagram Alir pada Gambar berikut, dengan penjelasan langkah-langkah sebagai berikut :

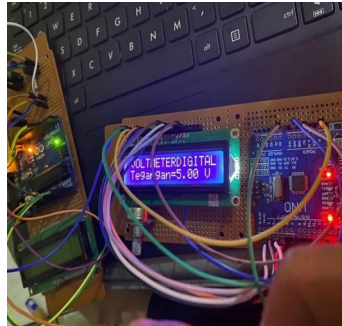


Gambar 2 : Diagram Alir Pemrograman

Berdasarkan diagram alir pada Gambar 2, algoritma kerja sistem dapat diuraikan yakni pada tahap awal dilakukan **Inisialisasi Sistem** Program dimulai dengan menginisialisasi komunikasi antara Arduino Uno dan modul LCD 16x2. Pin analog A0 dikonfigurasi sebagai input untuk menerima sinyal tegangan dari probe. Kemudian **dilakukan** Akuisisi Data ADC yang mana Mikrokontroler masuk ke loop utama dan membaca nilai mentah dari ADC pada pin A0. Untuk memitigasi noise dan meningkatkan stabilitas pembacaan, teknik *moving average* diterapkan dengan mengambil 10 sampel berurutan dalam interval cepat, kemudian menghitung nilai rata-ratanya setelah itu dilakukan Konversi Data Digital ke Tegangan Nilai rata-rata ADC dikonversi menjadi nilai tegangan dalam satuan Volt menggunakan persamaan kalibrasi berbasis tegangan referensi internal Arduino (5.0 V) lalu dilakukan Penampilan Data Nilai tegangan hasil konversi kemudian diformat menjadi string dengan presisi dua digit desimal dan ditampilkan secara real-time pada layar LCD 16x2. Tahap akhir dilakukan Penundaan dan Pengulangan Program memasuki penundaan selama 500 milidetik untuk memastikan pembacaan yang stabil dan mudah dibatasi. Setelah penundaan, alur program kembali ke langkah akuisisi data (Langkah 2) untuk melakukan pengukuran berikutnya, sehingga menciptakan sistem pengukuran kontinu.

Hasil dan Pembahasan

Prototipe voltmeter digital berbasis Arduino Uno telah berhasil diimplementasikan sesuai dengan desain yang direncanakan. Sistem berhasil melakukan akuisisi sinyal tegangan DC dan menampilkan nilai pengukurannya pada LCD 16x2 dengan stabil. Hasil implementasi fisik prototipe dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3 : Prototipe Voltmeter Digital yang Telah Dirakit

Pengujian fungsional awal menunjukkan bahwa seluruh komponen beroperasi sesuai dengan spesifikasi. LCD 16x2 berhasil menampilkan karakter dengan jelas setelah dilakukan penyesuaian kontras menggunakan potensiometer. Resistor 150 ohm terbukti efektif dalam membatasi arus masuk ke pin analog A0 tanpa menyebabkan distorsi sinyal yang signifikan pada rentang tegangan yang diuji.

Pengujian akurasi sistem pertama kali dilakukan dengan mengukur tegangan dari sumber referensi internal Arduino Uno itu sendiri. Hasil pengujian yang dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk setiap pin disajikan pada Tabel 1.

Sumber Tegangan	Percobaan ke-	Tegangan Ideal (V)	Tegangan Terukur (V)	Error (%)
Pin 5V	1	5.00	5.00	0.00
	2	5.00	5.00	0.00
	3	5.00	5.00	0.00
	Rata-rata	5.00	5.00	0.00
Pin 3.3V	1	3.30	3.30	0.00
	2	3.30	3.30	0.00
	3	3.30	3.30	0.00
	Rata-rata	3.30	3.30	0.00

Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa pengukuran pada sumber referensi internal Arduino menghasilkan error 0%. Hasil ini mengkonfirmasi bahwa sistem pengukuran dan algoritma konversi ADC-t ke-tegangan yang diimplementasikan telah berfungsi dengan benar. Nilai 0% error ini dapat dicapai karena sumber tegangan yang diukur berasal dari regulator tegangan yang sama yang digunakan sebagai referensi ADC internal Arduino, sehingga menghasilkan kondisi pengukuran yang ideal (Pratomo & H., 2020).

Pengujian selanjutnya dilakukan pada sumber tegangan eksternal berupa baterai untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam kondisi pengukuran riil. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 2.

Sumber Tegangan	Percobaan ke-	Tegangan Ideal (V)	Tegangan Terukur (V)	Error (%)
Baterai 1.5V	1	1.50	1.48	1.33
	2	1.50	1.48	1.33
	3	1.50	1.48	1.33
	Rata-rata	1.50	1.48	1.33

Sumber Tegangan	Percobaan ke-	Tegangan Ideal (V)	Tegangan Terukur (V)	Error (%)
Baterai 3V	1	3.00	3.03	0.99
	2	3.00	3.03	0.99
	3	3.03	3.03	0.99
	Rata-rata	3.00	3.03	0.99

Hasil pengujian pada Tabel 2 menunjukkan adanya deviasi antara nilai tegangan terukur dengan nilai tegangan ideal. Pada baterai 1.5V, sistem konsisten menampilkan nilai 1.48V dengan error 1.33%, sedangkan pada baterai 3V, nilai yang ditampilkan adalah 3.03V dengan error 0.99%.

Beberapa faktor yang berkontribusi terhadap error ini adalah :

1.Kondisi Baterai Riil : Nilai "Tegangan Ideal" pada Tabel 2 merupakan nilai nominal baterai. Dalam praktiknya, tegangan terminal baterai sangat bergantung pada State of Charge (SOC) dan usia baterai (Sari et al., 2023). Baterai 1.5V yang menghasilkan pembacaan 1.48V sangat mungkin telah mengalami degradasi kapasitas akibat penggunaan sebelumnya, di mana tegangan open-circuit-nya memang telah menurun dari nilai nominal.

2.Karakteristik Beban dan Impedansi Sumber : Pengukuran dengan voltmeter digital menempatkan beban tertentu pada sumber tegangan. Perbedaan impedansi input antara prototipe yang dibuat dengan multimeter referensi dapat menyebabkan perbedaan pembacaan tegangan, terutama pada sumber berimpedansi tinggi seperti baterai yang sudah berkurang kapasitasnya.

3.Noise dan Stabilitas Referensi ADC : Fluktuasi pada catu daya Arduino yang digunakan sebagai tegangan referensi ADC dapat mempengaruhi akurasi konversi (Pratomo & H., 2020). Nilai 3.03V yang konsisten pada baterai 3V dapat disebabkan oleh kombinasi noise ini dengan kondisi baterai yang masih baik.

Meskipun terdapat error absolut, hasil yang ditunjukkan pada Tabel 2 membuktikan bahwa sistem memiliki **presisi yang sangat tinggi**, ditunjukkan oleh nilai pengukuran yang konsisten pada setiap pengulangan (standard deviation = 0). Hal ini mengindikasikan bahwa sistem memiliki repeatability yang baik, dan error yang muncul bersifat sistematis, bukan acak. Secara

keseluruhan, prototipe voltmeter digital ini telah memenuhi tujuan perancangannya. Sistem berhasil mengukur tegangan DC dengan error di bawah 1.5% pada semua skenario pengujian. Tingkat akurasi ini sudah memadai untuk banyak aplikasi dalam konteks pendidikan dan hobby electronics. Performa yang sangat baik pada pengukuran sumber referensi internal membuktikan ketepatan desain sistem dan algoritma perangkat lunak, sementara deviasi kecil pada pengukuran baterai merefleksikan tantangan umum dalam pengukuran tegangan riil yang juga dijumpai pada instrumentasi praktis.

Keterbatasan utama sistem ini adalah rentang pengukurannya yang terbatas pada 0-5V, yang ditentukan oleh tegangan referensi ADC Arduino. Pengembangan di masa depan dapat mengatasi keterbatasan ini dengan menambahkan rangkaian pembagi tegangan yang presisi untuk memperluas rentang pengukuran.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Prototipe voltmeter digital berbasis Arduino Uno telah berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan memanfaatkan modul ADC 10-bit internal untuk konversi sinyal analog ke digital, serta LCD 16x2 sebagai antarmuka tampilan. Sistem secara keseluruhan menunjukkan kinerja fungsional yang stabil dan andal dalam melakukan akuisisi dan penampilan data tegangan DC.

2. Hasil karakterisasi sistem menunjukkan tingkat akurasi dan presisi yang sangat baik. Pengujian pada sumber referensi internal Arduino (pin 5V dan 3.3V) menghasilkan error 0%, yang membuktikan keakuratan algoritma konversi dan efektivitas desain sistem pada kondisi ideal. Sementara itu, pengujian pada sumber tegangan eksternal (baterai 1.5V dan 3V) menghasilkan error rata-rata sebesar 1.33% dan 0.99%. Deviasi ini terutama disebabkan oleh faktor eksternal, yaitu kondisi riil baterai yang telah mengalami degradasi dan karakteristik impedansi sumber, bukan oleh kegagalan sistem pengukuran itu sendiri. Tingkat presisi sistem yang tinggi ditunjukkan oleh hasil pengukuran yang konsisten pada setiap pengulangan.

3. Analisis mendalam mengidentifikasi bahwa akurasi pengukuran voltmeter digital berbasis Arduino sangat dipengaruhi oleh kondisi sumber tegangan yang diukur dan stabilitas tegangan referensi internal. Temuan ini

menyoroti pentingnya pertimbangan terhadap karakteristik Device Under Test (DUT) dalam kalibrasi dan penggunaan alat ukur elektronik praktis, bahkan untuk prototipe yang sederhana.

Prototipe ini telah membuktikan kelayakannya sebagai alat ukur tegangan DC berbiaya rendah untuk aplikasi pendidikan dan laboratorium dasar. Keberhasilan implementasinya memberikan fondasi yang kuat untuk pengembangan lebih lanjut, seperti perluasan rentang pengukuran, penambahan fungsi pengukuran besaran listrik lainnya (seperti arus dan hambatan), serta integrasi dengan sistem akuisisi data berbasis Internet of Things (IoT).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu penelitian hingga terselesaikannya tulisan ini. Terutama kepada teman – teman di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi

DAFTAR PUSTAKA

Banzi, M., & Shiloh, M. (2014). *Getting started with Arduino: The open source electronics prototyping platform* (3rd ed.). Maker Media, Inc.

Budi, A. S., Negara, R. W. S., & S., I. M. A. D. (2021). Design of a low-cost digital multimeter based on Arduino Nano. *Journal of Physics: Conference Series*, 1816(1), 012045. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1816/1/012045>

Fauzi, M. A., Pratama, D. A., & S., R. R. A. (2022). Development of an Arduino-based instrumentation kit for physics education: A systematic review. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 6(2), 150–162.

Helfrick, A. D., & Cooper, W. D. (2016). *Modern electronic instrumentation and measurement techniques*. Pearson Education.

Pratomo, D., & H., S. (2020). Optimization of Analog to Digital Converter (ADC) accuracy on Arduino Uno for precision voltage measurement. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 9(3), 2602–2607. <https://doi.org/10.35940/ijeat.C5522.029320>

Royhan, M. (2018). Pengukuran tegangan baterai mobil dengan Arduino Uno. *Jurnal Teknik Informatika UNIS*, 6(1), 30–36.

Sari, N. K., Wirawan, I. M. A., & D., I. K. G. (2023). State of Charge (SOC) estimation for lead-acid battery using Arduino with simple voltage method. *EMITTER International Journal of Engineering Technology*, 11(1), 1–15. <https://doi.org/10.24003/emitter.v11i1.723>