

Rancang Bangun Sistem Pembelajaran Hukum Ohm Berbasis Internet of Things dan Website Real-Time Menggunakan ESP32, MQTT, dan Sensor INA226

Hendri Wahyudi¹, Alfian Muhammad Fernanda², Dhian Joedhistiro^{3*}, Rudi Susanto⁴, Triyono⁵

¹Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta
¹*230103137@mhs.udb.ac.id

²Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta
²230103258@mhs.udb.ac.id

³Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta
³*230103130@mhs.udb.ac.id

⁴Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta
⁴rudi_susanto@udb.ac.id

⁵Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta
⁵triyono@udb.ac.id

Abstrak— Pembelajaran Hukum Ohm memerlukan kegiatan praktikum agar siswa dapat mengamati hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan secara langsung. Namun, praktikum konvensional masih menghadapi kendala berupa keterbatasan alat ukur, pencatatan data secara manual, dan belum tersedianya pemantauan hasil praktikum secara real-time. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji sistem pembelajaran Hukum Ohm berbasis Internet of Things (IoT) dan website real-time. Metode penelitian menggunakan pendekatan prototyping yang meliputi analisis kebutuhan, perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, implementasi, dan pengujian. Sistem dibangun menggunakan ESP32-S3 sebagai pengendali utama, sensor tegangan, sensor arus INA226, sensor suhu DS18B20, serta empat pilihan resistor, yaitu 220 Ω , 330 Ω , 470 Ω , dan 680 Ω . Data sensor dikirim melalui protokol MQTT menuju backend berbasis Node.js, kemudian didistribusikan ke antarmuka website berbasis React.js menggunakan WebSocket. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor tegangan memiliki rata-rata error sebesar 2,27%. Pengujian arus pada resistor 220 Ω , 330 Ω , 470 Ω , dan 680 Ω menghasilkan rata-rata error terhadap multimeter sebesar 3,89% sampai 5,25% serta menunjukkan pola pembacaan yang searah dengan prinsip Hukum Ohm. Selain itu, sistem berhasil menampilkan data tegangan, arus, suhu, dan status koneksi IoT secara real-time pada website tanpa memerlukan refresh halaman. Berdasarkan hasil tersebut, sistem yang dirancang berpotensi digunakan sebagai prototipe media praktikum digital Hukum Ohm yang interaktif dan terintegrasi.

Kata kunci— ESP32, Hukum Ohm, Internet of Things, MQTT, Website Real-Time

Abstract— Learning Ohm's Law requires practical activities so that students can directly observe the relationship between voltage, current, and resistance. However, conventional laboratory activities still face several limitations, such as limited measuring instruments, manual data recording, and the absence of real-time practical data monitoring. This study aims to design and test an Ohm's Law learning system based on the Internet of Things (IoT) and a real-time website. The research method applies a prototyping approach, consisting of needs analysis, hardware design, software design, implementation, and testing. The system was developed using an ESP32-S3 as the main controller, a voltage sensor, an INA226 current sensor, a DS18B20 temperature sensor, and four resistor options, namely 220 Ω , 330 Ω , 470 Ω , and 680 Ω . Sensor data are transmitted through the MQTT protocol to a Node.js-based backend and then distributed to a React.js-based website interface using WebSocket. The test results show that the voltage sensor has an average error of 2.27%. Current measurement testing on 220 Ω , 330 Ω , 470 Ω , and 680 Ω resistors produced an average error against the multimeter of 3.89% to 5.25% and showed a reading pattern consistent with Ohm's Law. In addition, the system successfully displays voltage, current, temperature, and IoT connection status on the website in real-time without requiring page refresh. Based on these results, the proposed system has the potential to be used as an interactive and integrated prototype of a digital laboratory learning medium for Ohm's Law.

Keywords— ESP32, Ohm's Law, Internet of Things, MQTT, Real-Time Website

I. PENDAHULUAN

Hukum Ohm merupakan konsep dasar dalam materi kelistrikan yang menjelaskan hubungan antara tegangan (V), arus listrik (I), dan hambatan (R). Pemahaman konsep Hukum Ohm

akan lebih optimal apabila didukung dengan kegiatan praktikum, karena siswa dapat mengamati perubahan nilai arus ketika tegangan dan hambatan diubah secara langsung. Penelitian pendidikan fisika menunjukkan bahwa

pembelajaran Hukum Ohm dan Kirchhoff masih membutuhkan dukungan praktikum agar konsep dapat dipahami secara lebih bermakna [1].

Perkembangan teknologi digital membuka peluang penerapan media pembelajaran berbasis perangkat elektronik dan komputasi. Simulasi interaktif dan virtual laboratory telah digunakan untuk membantu siswa mengeksplorasi hubungan tegangan, arus, dan hambatan pada eksperimen Hukum Ohm [2]. Media pembelajaran berbasis mikrokontroler, seperti integrasi Scratch-Arduino, juga dapat digunakan untuk mendukung kegiatan pembelajaran fisika secara lebih interaktif [3]. Selain itu, sistem pengukuran berbasis Arduino telah diterapkan pada skala laboratorium untuk pencatatan dan penyimpanan data pengukuran [4]. Meskipun beberapa media tersebut telah mendukung pembelajaran konsep kelistrikan, sebagian masih berfokus pada simulasi atau pencatatan data secara lokal. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya media praktikum yang tetap menggunakan rangkaian fisik, tetapi dilengkapi pemantauan data secara otomatis, real-time, dan dapat diakses melalui website.

Internet of Things (IoT) dapat dimanfaatkan untuk menghubungkan sensor, mikrokontroler, backend, database, dan antarmuka website dalam satu sistem terintegrasi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa perangkat sensor berbasis Wi-Fi dan mikrokontroler dapat digunakan untuk monitoring data kelistrikan secara otomatis [5], serta mendukung pengawasan data pada sistem energi berbasis ESP32 dan Node-RED [6]. Sistem IoT juga dapat diterapkan untuk monitoring dan kontrol secara real-time melalui pendekatan supervisory control and data acquisition [7]. Perangkat IoT berdaya rendah juga dapat menjadi alternatif dalam pengembangan sistem pemantauan yang hemat biaya dan sesuai untuk kebutuhan implementasi terbatas [8]. Pada sisi komunikasi data, MQTT banyak digunakan karena memiliki karakteristik ringan dan mendukung pola komunikasi publish/subscribe, sehingga sesuai untuk sistem berbasis perangkat dengan sumber daya terbatas [9]. ESP32-S3 juga mendukung konektivitas Wi-Fi serta berbagai antarmuka seperti I2C, ADC,

dan GPIO yang sesuai untuk integrasi sensor dan aktuator pada sistem praktikum [10].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini merancang sistem pembelajaran Hukum Ohm berbasis Internet of Things dan website real-time. Sistem yang dirancang menggunakan ESP32-S3 sebagai pengendali utama, sensor tegangan, sensor arus INA226, sensor suhu DS18B20, resistor 220 Ω , 330 Ω , 470 Ω , dan 680 Ω , serta backend berbasis Node.js dan frontend berbasis React.js. Penelitian ini difokuskan pada perancangan arsitektur sistem, alur kerja perangkat, integrasi IoT dengan website, serta pengujian pembacaan sensor terhadap multimeter dan nilai teori Hukum Ohm. Kontribusi penelitian ini adalah menghasilkan prototipe media praktikum digital yang mengintegrasikan perangkat keras, protokol MQTT, backend, database, dan website real-time untuk mendukung proses monitoring praktikum Hukum Ohm.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Analisis Kebutuhan

Metode penelitian yang digunakan adalah prototyping, karena pengembangan sistem pembelajaran Hukum Ohm berbasis Internet of Things dan website real-time memerlukan proses perancangan, implementasi, dan pengujian secara bertahap antara perangkat keras, firmware ESP32-S3, komunikasi MQTT, backend, database, dan antarmuka website [7], [9], [10]. Tahapan penelitian meliputi analisis kebutuhan, perancangan arsitektur hardware, perancangan arsitektur software, implementasi sistem, serta pengujian akurasi sensor dan integrasi IoT dengan website.

Analisis kebutuhan dilakukan untuk mengidentifikasi komponen dan fungsi yang diperlukan dalam pengembangan sistem. Kebutuhan sistem dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu kebutuhan perangkat keras, kebutuhan perangkat lunak, dan kebutuhan pengguna. Dari sisi perangkat keras, sistem harus mampu membaca nilai tegangan, arus, dan suhu, serta mengaktifkan salah satu resistor sebagai beban praktikum [10], [11], [12]. Dari sisi perangkat lunak, sistem harus mampu

mengirimkan data sensor secara real-time melalui MQTT, menerima perintah kontrol, menyimpan data, dan menampilkannya pada website. Dari sisi pengguna, sistem perlu mendukung peran admin, guru, dan siswa dalam proses pengelolaan kelas, sesi praktikum, monitoring data, dan penilaian hasil pembelajaran.

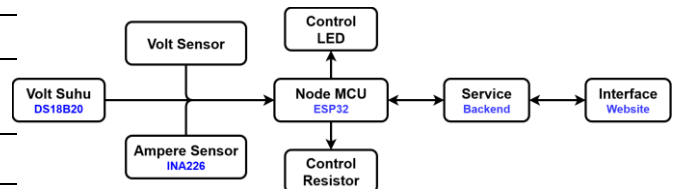
Tabel 1. Kebutuhan Perangkat Sistem

Komponen	Jenis	Fungsi
ESP32-S3	Mikrokontroler	Mengolah sensor, kontrol resistor, dan komunikasi Wi-Fi
Sensor tegangan	Sensor analog	Membaca nilai tegangan rangkaian
INA226	Sensor arus I2C	Membaca arus dan mendukung pengukuran tegangan/power [11]
DS18B20	Sensor suhu 1-Wire	Membaca suhu rangkaian atau komponen [12]
Resistor 220 Ω , 330 Ω , 470 Ω , 680 Ω	Beban praktikum	Objek pengujian Hukum Ohm
Node.js dan React.js	Perangkat lunak web	Backend, API, dan antarmuka website
MQTT Broker	Protokol komunikasi	Menjembatani pengiriman data sensor dan perintah kontrol antara ESP32-S3 dan backend
Supabase	Database	Menyimpan data pengguna, kelas, sesi, nilai, dan riwayat praktikum

B. Perancangan Arsitektur Hardware

Perancangan arsitektur hardware bertujuan membangun perangkat praktikum Hukum Ohm yang mampu melakukan pengukuran dan pengendalian rangkaian secara otomatis. Sistem menggunakan ESP32-S3 sebagai mikrokontroler utama yang terhubung dengan sensor tegangan, sensor arus INA226, sensor suhu DS18B20, rangkaian pemilih resistor, dan LED indikator [10]. Sensor tegangan digunakan untuk membaca beda potensial pada rangkaian, sedangkan INA226 digunakan untuk membaca nilai arus [11]. DS18B20 digunakan untuk memantau suhu pada rangkaian atau komponen pendukung [12]. Resistor 220 Ω , 330 Ω , 470 Ω , dan 680 Ω digunakan sebagai variasi beban praktikum untuk mengamati hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan. ESP32-S3 bertugas membaca data sensor, mengendalikan pemilihan jalur resistor, serta mengirimkan hasil pembacaan ke sistem perangkat lunak melalui koneksi Wi-Fi. Diagram blok pada Gambar 1 memperlihatkan ESP32-S3

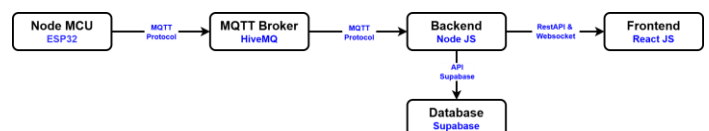
sebagai pusat kendali yang menerima masukan dari sensor tegangan, sensor arus INA226, dan sensor suhu DS18B20. Selain itu, ESP32-S3 juga mengendalikan rangkaian pemilih resistor dan LED indikator sebagai bagian dari proses praktikum. Melalui rancangan ini, data hasil pengukuran dari rangkaian Hukum Ohm dapat diproses oleh mikrokontroler sebelum dikirimkan ke sistem website.



Gambar 1. Diagram blok sistem hardware pembelajaran Hukum Ohm berbasis IoT dan website.

C. Perancangan Arsitektur Software

Perancangan arsitektur software bertujuan mengintegrasikan perangkat IoT dengan aplikasi website agar proses monitoring dan kontrol dapat dilakukan secara real-time. Arsitektur perangkat lunak terdiri atas ESP32-S3, MQTT Broker, backend Node.js, database Supabase, dan frontend React.js. ESP32-S3 berperan sebagai pengirim data sensor dan penerima perintah kontrol. Data sensor dikirimkan melalui protokol MQTT menuju backend Node.js untuk diproses dan diteruskan ke database Supabase. Backend juga menyediakan layanan REST API untuk kebutuhan pengelolaan data serta WebSocket untuk mendistribusikan data sensor ke frontend secara real-time. Frontend React.js digunakan sebagai antarmuka pengguna untuk menampilkan nilai tegangan, arus, suhu, status koneksi IoT, serta mendukung pemilihan jalur resistor yang akan diuji. Arsitektur software sistem ditunjukkan pada Gambar 2.

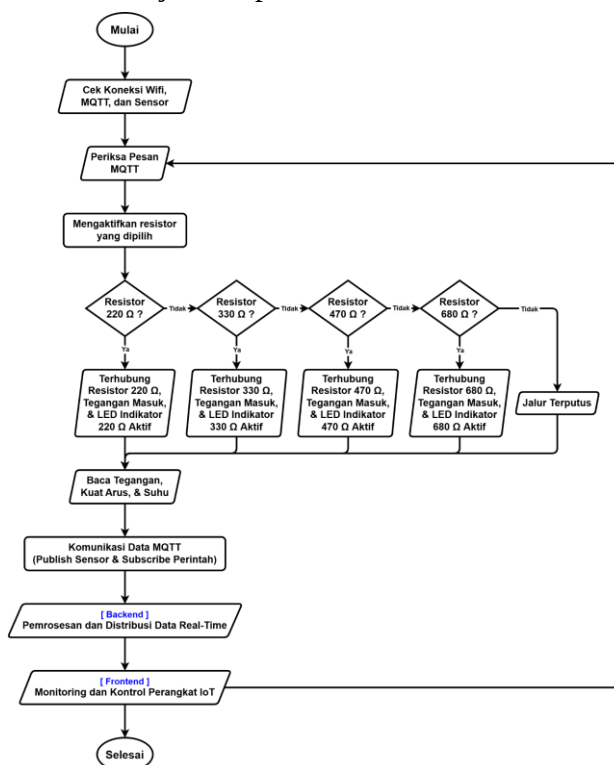


Gambar 2. Diagram blok sistem software pembelajaran Hukum Ohm berbasis IoT dan website.

D. Alur Kerja Sistem

Alur kerja sistem dimulai dari proses inisialisasi perangkat, yaitu koneksi Wi-Fi, koneksi MQTT, dan pembacaan awal sensor.

Setelah koneksi berhasil, ESP32-S3 akan menunggu perintah kontrol dari backend melalui MQTT. Apabila terdapat perintah pemilihan resistor, ESP32-S3 akan mengaktifkan satu resistor sesuai perintah dan menonaktifkan resistor lainnya agar tidak terjadi jalur aktif ganda. Setelah jalur resistor yang dipilih terhubung, ESP32-S3 membaca nilai tegangan, arus, dan suhu pada rangkaian. Data hasil pembacaan kemudian dikirimkan ke backend melalui MQTT Broker. Backend menerima data tersebut, memprosesnya, menyimpan data yang diperlukan ke database, dan mendistribusikan data ke frontend menggunakan WebSocket. Website kemudian menampilkan data praktikum secara real-time, meliputi nilai tegangan, arus, suhu, dan status koneksi perangkat. Proses ini berlangsung secara berulang selama perangkat aktif, sehingga sistem dapat digunakan untuk monitoring praktikum secara kontinu. Alur kerja sistem ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart proses kerja perangkat IoT, backend, dan frontend.

E. Rangkaian dan Pengkabelan

Rangkaian pengkabelan menghubungkan ESP32-S3 dengan sensor tegangan, sensor arus INA226, sensor suhu DS18B20, rangkaian resistor, LED indikator, dan sumber daya.

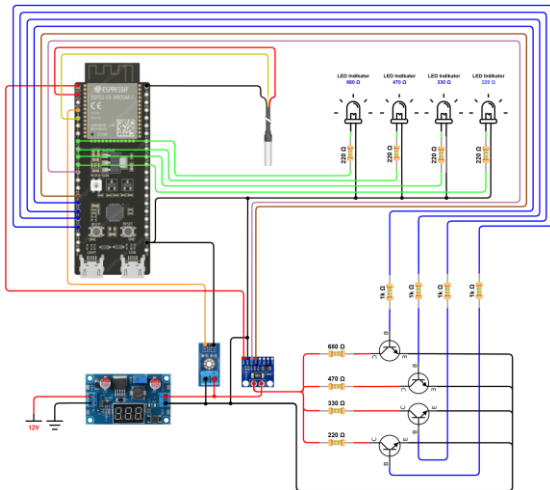
INA226 digunakan karena memiliki antarmuka I2C dan dapat membaca arus, tegangan, serta daya melalui mekanisme current shunt monitor [11]. DS18B20 digunakan untuk pemantauan suhu karena mendukung komunikasi 1-Wire dan resolusi pengukuran suhu 9-bit sampai 12-bit [12].

Pada perancangan rangkaian, ground semua modul harus disatukan agar pembacaan sensor memiliki referensi yang sama. Jalur ADC ESP32 tidak boleh menerima tegangan langsung melebihi batas aman, sehingga sensor tegangan harus menggunakan pembagi tegangan atau modul sensor yang sesuai. Pemilihan resistor harus dikontrol satu per satu agar tidak terjadi jalur aktif ganda yang menyebabkan nilai hambatan berubah menjadi paralel.

Untuk memperjelas hubungan antar-komponen, koneksi utama perangkat keras ditunjukkan pada Tabel II. Tabel ini digunakan sebagai acuan dalam proses perakitan perangkat agar setiap sensor dan aktuator terhubung sesuai dengan fungsi yang dirancang.

Tabel II. Koneksi Utama Perangkat Keras

Komponen	Koneksi ke ESP32-S3	Keterangan
Sensor tegangan	Pin ADC	Membaca nilai tegangan rangkaian
INA226	SDA dan SCL	Membaca arus melalui komunikasi I2C
DS18B20	Pin digital 1-Wire	Membaca suhu rangkaian atau komponen
Pemilih resistor	Pin digital output	Mengaktifkan salah satu resistor
LED indikator	Pin digital output	Menampilkan indikator kondisi sistem
Ground seluruh modul	GND	Menyamakan referensi tegangan



Gambar 4. Skema pengkabelan ESP32-S3, sensor, resistor, dan indikator.

F. Pengujian dan Analisis Data

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem dari sisi akurasi pembacaan sensor dan integrasi komunikasi data antara perangkat IoT dengan website. Pengujian akurasi sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap multimeter digital Excel DT-9205A sebagai alat pembanding. Sensor tegangan diuji pada beberapa variasi tegangan, kemudian hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan nilai yang terbaca pada multimeter. Sensor arus INA226 diuji menggunakan variasi resistor 220 Ω , 330 Ω , 470 Ω , dan 680 Ω . Pada pengujian arus, nilai pembacaan sensor dibandingkan dengan multimeter dan dianalisis berdasarkan teori Hukum Ohm.

Perhitungan hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan dilakukan menggunakan persamaan Hukum Ohm sebagai berikut:

$$V = I \times R \quad \text{atau} \quad R = V / I$$

$$\text{Error (\%)} = \frac{|\text{Nilai Pembanding} - \text{Nilai Sensor}|}{\text{Nilai Pembanding}} \times 100\%$$

Pada penelitian ini, nilai pembanding dapat berupa hasil pengukuran multimeter atau nilai teori berdasarkan perhitungan Hukum Ohm, sesuai dengan jenis pengujian yang dilakukan. Hasil pengujian digunakan untuk mengetahui tingkat kesesuaian pembacaan sensor terhadap alat ukur pembanding dan teori dasar kelistrikan.

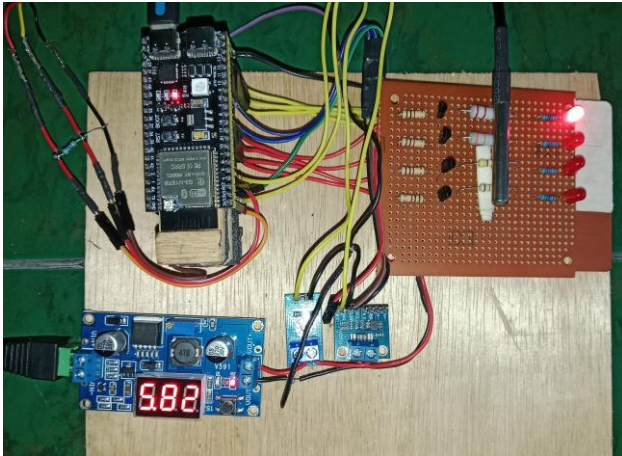
Selain pengujian akurasi sensor, dilakukan juga pengujian integrasi antara perangkat IoT dan website. Pengujian ini bertujuan memastikan bahwa data hasil pembacaan sensor pada ESP32-S3 dapat dikirim melalui MQTT Broker menuju backend Node.js, kemudian diteruskan ke frontend React.js menggunakan WebSocket secara real-time. Aspek yang diamati meliputi keberhasilan koneksi perangkat IoT, kesesuaian data tegangan, arus, dan suhu antara perangkat dengan tampilan website, kesesuaian pemilihan jalur resistor, serta kemampuan website dalam memperbarui data tanpa memerlukan refresh halaman. Dengan pengujian ini, dapat diketahui apakah alur komunikasi antara perangkat keras, MQTT Broker, backend, database, dan antarmuka website telah berjalan sesuai dengan rancangan sistem.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Sistem

Implementasi menunjukkan bahwa sistem pembelajaran Hukum Ohm berbasis IoT dan website real-time berhasil dikembangkan dalam tiga komponen utama, yaitu perangkat IoT, backend, dan website [5], [7]. Perangkat IoT berfungsi membaca data sensor serta mengendalikan pemilihan resistor pada rangkaian praktikum [10]. Backend berperan sebagai penghubung komunikasi data antara perangkat IoT, database, dan antarmuka website, sedangkan website digunakan sebagai media monitoring, kontrol, dan pengelolaan kegiatan praktikum.

Sistem website mendukung kebutuhan pembelajaran melalui fitur pengelolaan akun admin, guru, dan siswa, pengelolaan kelas, sesi soal, penilaian, serta tampilan data praktikum. Dalam konteks pembelajaran Hukum Ohm, data tegangan dan arus yang diperoleh dari perangkat IoT dapat digunakan sebagai bahan pengamatan siswa dalam memahami hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan. Foto prototipe perangkat hasil implementasi ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Foto prototipe perangkat praktikum Hukum Ohm berbasis IoT.

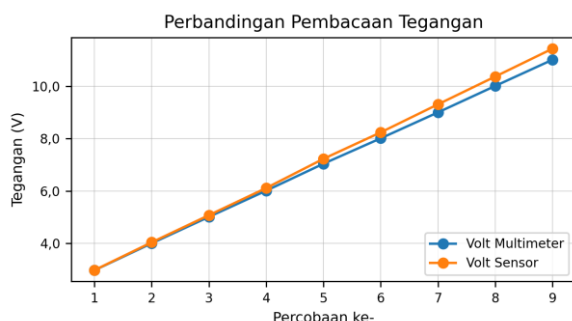
B. Hasil Pengujian

1. Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian sensor tegangan dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap multimeter pada sembilan variasi tegangan [4]. Data hasil pengujian sensor tegangan disajikan pada Tabel III, sedangkan grafik perbandingan antara pembacaan multimeter dan sensor tegangan ditampilkan pada Gambar 6.

Tabel III. Hasil Pengujian Sensor Tegangan

Volt Multimeter	Volt Sensor
2,97 V	2,975 V
4,00 V	4,038 V
5,01 V	5,075 V
6,01 V	6,112 V
7,04 V	7,227 V
8,01 V	8,237 V
9,00 V	9,308 V
10,01 V	10,368 V
11,01 V	11,433 V



Gambar 6. Grafik perbandingan pembacaan tegangan multimeter dan sensor tegangan.

Berdasarkan data pengujian sensor tegangan pada Tabel III dan grafik perbandingan pembacaan tegangan pada Gambar 6, nilai sensor

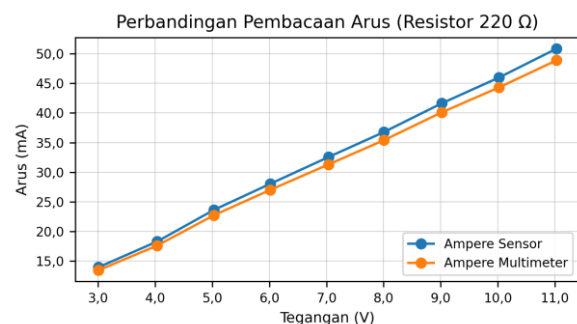
menunjukkan pola kenaikan yang searah dengan hasil pengukuran multimeter. Rata-rata selisih pembacaan sebesar 0,190 V dengan rata-rata error 2,27%. Nilai error terbesar terjadi pada pengujian tegangan tertinggi, sehingga proses kalibrasi sensor masih diperlukan agar hasil pembacaan pada website lebih mendekati nilai alat ukur pembanding [4].

2. Pengujian Sensor Arus

Pengujian arus dilakukan pada empat nilai resistor, yaitu 220 Ω , 330 Ω , 470 Ω , dan 680 Ω [1]. Setiap resistor diuji pada beberapa variasi tegangan, kemudian pembacaan INA226 dibandingkan dengan multimeter [11]. Hasil pengujian arus pada masing-masing resistor disajikan pada Tabel IV sampai Tabel VII, sedangkan grafik perbandingan pembacaan arus antara sensor INA226 dan multimeter ditampilkan pada Gambar 7 sampai Gambar 10.

Tabel IV. Hasil Pengujian Arus pada Resistor 220 Ω

Volt Sensor	Ampere Sensor	Ampere Multimeter
3,005 V	13,925 mA	13,41 mA
4,033 V	18,275 mA	17,59 mA
5,024 V	23,600 mA	22,70 mA
6,014 V	28,025 mA	27,00 mA
7,034 V	32,550 mA	31,30 mA
8,005 V	36,775 mA	35,40 mA
9,016 V	41,625 mA	40,10 mA
10,017 V	45,975 mA	44,30 mA
11,029 V	50,875 mA	48,90 mA



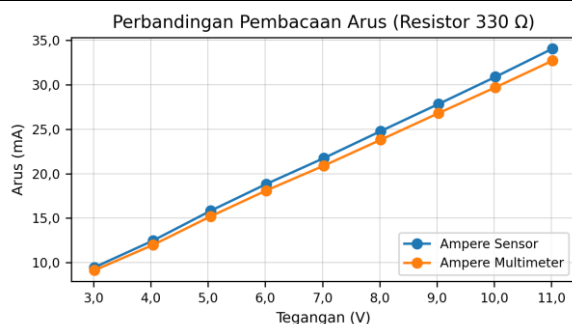
Gambar 7. Grafik perbandingan pembacaan arus pada resistor 220 Ω .

Berdasarkan data pengujian arus pada resistor 220 Ω yang disajikan pada Tabel IV dan grafik perbandingan arus pada Gambar 7, nilai arus sensor meningkat dari 13,925 mA menjadi 50,875 mA seiring kenaikan tegangan. Rata-rata error pembacaan arus terhadap multimeter sebesar 3,89%. Pola kenaikan arus pada grafik menunjukkan hubungan yang hampir linear,

sehingga hasil pengujian masih sesuai dengan prinsip Hukum Ohm [1].

Tabel V. Hasil Pengujian Arus pada Resistor 330 Ω

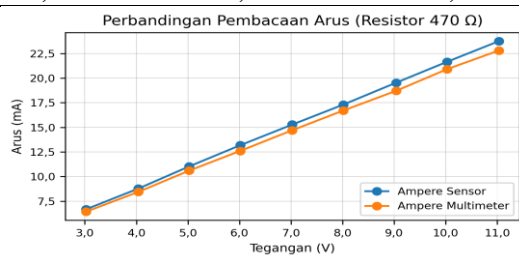
Volt Sensor	Ampere Sensor	Ampere Multimeter
3,015 V	9,475 mA	9,14 mA
4,038 V	12,475 mA	11,99 mA
5,044 V	15,825 mA	15,20 mA
6,014 V	18,825 mA	18,10 mA
7,024 V	21,750 mA	20,90 mA
8,014 V	24,775 mA	23,80 mA
9,026 V	27,825 mA	26,80 mA
10,021 V	30,875 mA	29,70 mA
11,019 V	34,050 mA	32,70 mA

Gambar 8. Grafik perbandingan pembacaan arus pada resistor 330 Ω .

Berdasarkan hasil pengujian arus pada resistor 330 Ω yang disajikan pada Tabel V dan grafik perbandingan arus pada Gambar 8, rata-rata error arus sensor terhadap multimeter sebesar 3,99%. Kenaikan arus tetap mengikuti kenaikan tegangan, tetapi nilai arus yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan resistor 220 Ω . Kondisi ini terjadi karena nilai hambatan 330 Ω lebih besar, sehingga arus yang mengalir pada tegangan yang sama menjadi lebih rendah [1].

Tabel VI. Hasil Pengujian Arus pada Resistor 470 Ω

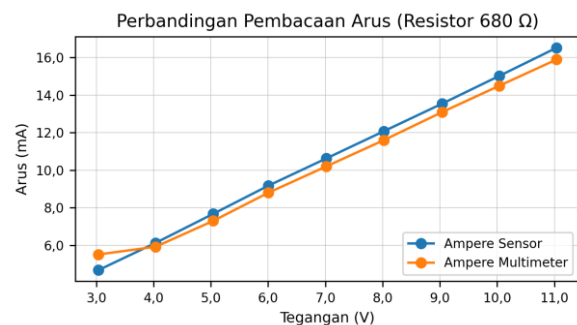
Volt Sensor	Ampere Sensor	Ampere Multimeter
3,025 V	6,675 mA	6,43 mA
4,038 V	8,775 mA	8,44 mA
5,024 V	11,025 mA	10,60 mA
6,014 V	13,175 mA	12,60 mA
7,024 V	15,275 mA	14,70 mA
8,014 V	17,300 mA	16,70 mA
9,038 V	19,525 mA	18,70 mA
10,028 V	21,650 mA	20,90 mA
11,035 V	23,750 mA	22,80 mA

Gambar 9. Grafik perbandingan pembacaan arus pada resistor 470 Ω .

Berdasarkan hasil pengujian arus pada resistor 470 Ω yang disajikan pada Tabel VI dan grafik perbandingan arus pada Gambar 9, rata-rata error pembacaan arus sebesar 4,00%. Nilai arus yang terbaca berada pada rentang lebih rendah dibandingkan resistor 220 Ω dan 330 Ω . Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan nilai hambatan menyebabkan penurunan arus pada rangkaian, sehingga pola pengujian masih mendukung hubungan dasar antara tegangan, arus, dan hambatan pada Hukum Ohm [1].

Tabel VII. Hasil Pengujian Arus pada Resistor 680 Ω

Volt Sensor	Ampere Sensor	Ampere Multimeter
3,035 V	4,675 mA	4,52 mA
4,034 V	6,125 mA	5,92 mA
5,041 V	7,675 mA	7,30 mA
6,004 V	9,175 mA	8,80 mA
7,014 V	10,625 mA	10,20 mA
8,019 V	12,075 mA	11,60 mA
9,041 V	13,550 mA	13,10 mA
10,037 V	15,025 mA	14,50 mA
11,038 V	16,525 mA	15,90 mA

Gambar 10. Grafik perbandingan pembacaan arus pada resistor 680 Ω .

Berdasarkan hasil pengujian arus pada resistor 680 Ω yang disajikan pada Tabel VII dan grafik perbandingan arus pada Gambar 10, rata-rata error arus sensor terhadap multimeter sebesar 5,25%. Nilai error pada resistor ini relatif lebih besar dibandingkan resistor lainnya karena arus yang diukur lebih kecil, sehingga pembacaan sensor lebih sensitif terhadap noise, koneksi kabel, dan toleransi komponen [11]. Meskipun demikian, grafik perbandingan arus pada Gambar 10 tetap menunjukkan tren kenaikan arus yang konsisten ketika tegangan dinaikkan.

C. Pembahasan Data Uji Coba

Secara keseluruhan, hasil uji coba menunjukkan bahwa sensor tegangan dan sensor arus mampu mengikuti perubahan nilai input

pada rangkaian. Pada pengujian tegangan, pembacaan sensor cenderung sedikit lebih tinggi dibandingkan multimeter. Perbedaan ini dapat dipengaruhi oleh proses kalibrasi sensor, toleransi komponen pembagi tegangan, serta karakteristik pembacaan ADC pada ESP32-S3.

Pada pengujian arus, seluruh variasi resistor menunjukkan pola yang sesuai dengan Hukum Ohm, yaitu arus meningkat ketika tegangan dinaikkan dan arus menurun ketika nilai hambatan diperbesar. Error pembacaan arus cenderung lebih besar pada resistor dengan nilai hambatan lebih tinggi karena arus yang diukur semakin kecil, sehingga pembacaan sensor menjadi lebih sensitif terhadap noise dan kestabilan koneksi rangkaian.

Berdasarkan hasil tersebut, data yang ditampilkan pada website dapat digunakan sebagai bahan pengamatan praktikum Hukum Ohm. Namun, sistem masih memerlukan kalibrasi lanjutan dan penyaringan data sensor agar pembacaan menjadi lebih stabil dan mendekati alat ukur pembanding.

D. Pengujian Integrasi IoT dengan Website

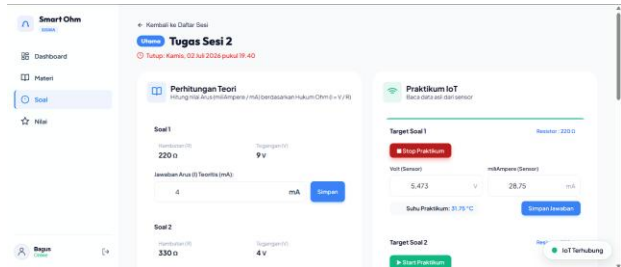
Pengujian integrasi IoT dengan website dilakukan untuk memastikan bahwa data hasil pembacaan sensor dapat dikirim dari perangkat ESP32-S3 menuju aplikasi website secara real-time. Proses komunikasi dimulai ketika ESP32-S3 membaca nilai tegangan, arus, dan suhu pada jalur resistor yang dipilih, kemudian mengirimkan data tersebut melalui protokol MQTT menuju MQTT Broker. Backend Node.js menerima dan memproses data dari broker, kemudian meneruskannya ke frontend React.js menggunakan WebSocket agar perubahan data dapat langsung ditampilkan pada antarmuka website tanpa memerlukan refresh halaman.

Tabel VIII. Hasil Pengujian Integrasi IoT dengan Website

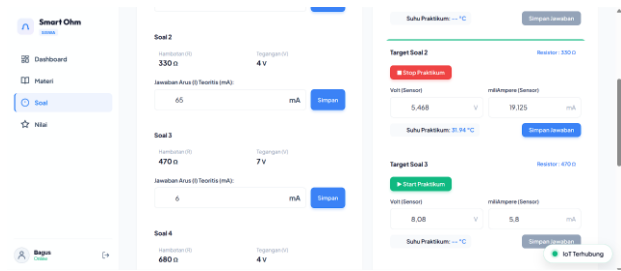
Aspek Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Status
Koneksi ESP32-S3 ke MQTT Broker	Perangkat dapat terhubung ke broker	ESP32-S3 berhasil terhubung dan mengirim data	Berhasil
Pengiriman data sensor	Data tegangan, arus, dan suhu diterima backend	Data sensor berhasil diterima oleh backend Node.js	Berhasil
Distribusi data ke frontend	Data tampil pada website secara real-time	Data berhasil diperbarui tanpa refresh halaman	Berhasil

Aspek Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Status
Pemilihan jalur resistor	Website dapat memilih jalur resistor yang akan diuji	Jalur resistor terhubung sesuai pilihan pengguna	Berhasil
Status koneksi IoT	Website menampilkan status koneksi perangkat	Status koneksi IoT berhasil ditampilkan	Berhasil

Ringkasan hasil pengujian integrasi komunikasi antara perangkat IoT dan website disajikan pada Tabel VIII. Tabel tersebut memuat aspek pengujian koneksi MQTT, pengiriman data sensor, distribusi data ke frontend, tampilan status koneksi IoT, serta pemilihan jalur resistor dari website.



Gambar 11. Tampilan halaman monitoring data praktikum pada website.



Gambar 12. Tampilan pembaruan data sensor dan status IoT pada website.

Tampilan halaman monitoring data praktikum pada Gambar 11 menunjukkan bahwa website mampu menampilkan informasi utama berupa nilai tegangan, arus, suhu, dan status koneksi perangkat IoT. Sementara itu, tampilan pembaruan data sensor pada Gambar 12 menunjukkan bahwa data yang diterima dari ESP32-S3 dapat diperbarui pada antarmuka website tanpa memerlukan refresh halaman. Nilai sensor yang diterima frontend sesuai dengan data yang dikirim oleh ESP32-S3 melalui MQTT dan diproses oleh backend Node.js.

Berdasarkan hasil pengujian integrasi pada Tabel VIII serta tampilan website pada Gambar 11 dan Gambar 12, mekanisme komunikasi data mulai dari ESP32-S3, MQTT Broker, backend

Node.js, WebSocket, hingga frontend React.js telah berjalan sesuai rancangan. Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi IoT dan website mampu mendukung proses monitoring data praktikum Hukum Ohm secara real-time.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan rancangan sistem pembelajaran Hukum Ohm berbasis Internet of Things dan website real-time menggunakan ESP32-S3, sensor tegangan, sensor arus INA226, sensor suhu DS18B20, empat variasi resistor, backend Node.js, dan frontend React.js. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor tegangan memiliki rata-rata error sebesar 2,27%, sedangkan pengujian arus pada resistor 220 Ω , 330 Ω , 470 Ω , dan 680 Ω menghasilkan rata-rata error terhadap multimeter

sebesar 3,89% sampai 5,25%. Pola pembacaan arus sesuai dengan prinsip Hukum Ohm, yaitu arus meningkat ketika tegangan dinaikkan dan menurun ketika hambatan diperbesar. Pengujian integrasi menunjukkan bahwa data tegangan, arus, suhu, dan status koneksi IoT dapat ditampilkan pada website secara real-time melalui MQTT dan WebSocket tanpa refresh halaman. Sistem juga mendukung pemilihan jalur resistor melalui antarmuka website. Berdasarkan hasil tersebut, sistem berpotensi digunakan sebagai prototipe media praktikum digital Hukum Ohm yang interaktif dan terintegrasi. Pengembangan selanjutnya disarankan mencakup kalibrasi otomatis, filter data sensor, proteksi suhu dan arus, penyimpanan riwayat praktikum, serta pengujian langsung kepada pengguna.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Duta Bangsa Surakarta, serta semua pihak yang membantu proses perancangan, pengujian, dan penyusunan artikel ini.

REFERENSI

- [1] W. Wahyudi, "Analisis Hasil Belajar Mahasiswa pada Pokok Bahasan Hukum Ohm dan Kirchoff dalam Matakuliah Elektronika Dasar I," *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, vol. 1, no. 2, pp. 129–134, 2017, doi: 10.29303/jpft.v1i2.248.
- [2] F. Mabruroh, P. Talakua, H. Y. Suhendi, and M. M. Maipauw, "The Utilization of Virtual Reality in Ohm's Law Experiment Simulation," *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika*, vol. 5, no. 1, 2025, doi: 10.52434/jpif.v5i1.42510.
- [3] I. Balouktsis, "Design and Development of Scratch-Arduino Educational Tools for Physics Teaching," *Science Education International*, 2025.
- [4] D. G. E. Setiawan, et al., "Design of Resistivity Meter Data Storage System Based on Arduino Mega 2560 for Laboratory Scale," *Indonesian Journal of Applied Physics*, 2024.
- [5] A. Oltean, S. Ungureanu, A. Miron, and A. Cziker, "IoT Power Monitoring Device Using Wi-Fi and Arduino," in *Proc. 2021 9th International Conference on Modern Power Systems (MPS)*, 2021, doi: 10.1109/MPS52805.2021.9492651.
- [6] W. He, et al., "An Open-Source Supervisory Control and Data Acquisition Architecture for Photovoltaic System Monitoring Using ESP32, Banana Pi M4, and Node-RED," *Energies*, vol. 17, no. 10, p. 2295, 2024.
- [7] W. Khalid, et al., "Open-Source Internet of Things-Based Supervisory Control and Data Acquisition System for Real-Time Monitoring and Control," *Energies*, vol. 17, no. 16, p. 4083, 2024.
- [8] S. D. A. P. Senadeera, et al., "Cost-Effective and Low Power IoT-Based Paper Supply Monitoring System," *Journal of Low Power Electronics and Applications*, vol. 11, no. 4, p. 46, 2021.
- [9] MQTT.org, "MQTT: The Standard for IoT Messaging." [Online]. Available: <https://mqtt.org/>
- [10] Espressif Systems, "ESP32-S3 Series Datasheet: 2.4 GHz Wi-Fi + Bluetooth LE SoC," 2021. [Online]. Available: https://documentation.espressif.com/esp32-s3_datasheet_en.pdf
- [11] Texas Instruments, "INA226 36V, 16-Bit, Ultra-Precise I2C Output Current, Voltage, and Power Monitor With Alert Datasheet," 2024. [Online]. Available: <https://www.ti.com/product/INA226>
- [12] Analog Devices, "DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer Datasheet." [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf>