

PENERAPAN PROTOTYPE ALAT PEMANTAUAN TEGANGAN LISTRIK BERBASIS INTERNET OF THINGS (STUDI KASUS : GEDUNG C DAN D UNIVERSITAS PROKLAMASI 45)

Saputra¹⁾, Agung Prayogo²⁾, Eko Puji Laksono³⁾ Sapriani Gustina⁴⁾

^{1,2,3,4)} Teknologi Informasi, Fakultas Teknik Universitas Proklamasi 45

Jl. Proklamasi No.1, RT.17/RW.05, Tambak Bayan, Caturtunggal, Depok, Sleman,
Daerah Istimewa Yogyakarta 55281

Email: saputra@up45.ac.id¹⁾, agung.p@up45.ac.id²⁾, ekopujilaksono@up45.ac.id³⁾, sagustina@up45.ac.id⁴⁾

(Naskah masuk : 15 Agustus 2025 Diterima untuk diterbitkan : 17 November 2025)

ABSTRAK

Fluktuasi tegangan listrik dapat menyebabkan gangguan hingga kerusakan pada perangkat elektronik, terutama di lingkungan bangunan yang dipenuhi peralatan digital. Kondisi ini menuntut adanya sistem pemantauan yang mampu memberikan informasi tegangan secara akurat dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pemantauan tegangan berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sensor ZMPT101B, mikrokontroler Arduino Uno, dan modul Wemos D1 R1. Data tegangan dikirim ke aplikasi Blynk melalui jaringan WiFi untuk ditampilkan dalam antarmuka visual yang mudah dipantau pengguna. Pengujian dilakukan di beberapa ruangan pada dua bangunan berbeda. Hasil tegangan dari sensor dibandingkan dengan alat ukur referensi berupa multimeter dan voltmeter analog. Akurasi sistem tercatat sebesar 99,8921% dan 99,9173% di lokasi pertama, serta 99,762% dan 99,794% di lokasi kedua. Nilai MAPE yang rendah, yaitu di bawah 0,25%, menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keandalan yang tinggi dan layak diterapkan untuk pemantauan tegangan secara efisien dan responsif.

Kata Kunci: Tegangan Listrik, IoT, Arduino Uno, ZMPT101B, Blynk, Real-Time.

ABSTRACT

Voltage fluctuations can lead to disturbances and even damage to electronic devices, particularly in buildings equipped with extensive digital infrastructure. This situation requires a monitoring system capable of delivering accurate and continuous voltage information. This study aims to design a voltage monitoring system based on the Internet of Things (IoT) using the ZMPT101B voltage sensor, Arduino Uno microcontroller, and Wemos D1 R1 module. The voltage data is transmitted via WiFi to the Blynk application, which provides a user-friendly visual interface for easy monitoring. Testing was conducted in several rooms across two different buildings. Sensor readings were compared to reference measurements obtained using a digital multimeter and an analog voltmeter. The system demonstrated high accuracy, reaching 99.8921% and 99.9173% in the first location, and 99.762% and 99.794% in the second. The Mean Absolute Percentage Error (MAPE) values were below 0.25%, indicating excellent reliability. These results confirm that the system is effective, accurate, and suitable for efficient and responsive voltage monitoring.

Keywords: Voltage Monitoring, IoT, Arduino Uno, ZMPT101B, Blynk, Wireless System.

I. PENDAHULUAN

Tegangan listrik merupakan komponen utama dalam sistem kelistrikan yang sangat memengaruhi performa berbagai perangkat elektronik, baik dalam skala rumah tangga, industri, maupun fasilitas umum [1]. Fluktuasi tegangan, baik itu kenaikan maupun penurunan dari standar normal, dapat menyebabkan kerusakan atau gangguan pada perangkat elektronik [2]. Faktor penyebab fluktuasi ini antara lain adalah perubahan beban listrik secara mendadak dan kondisi lingkungan seperti cuaca ekstrem [3]. Untuk menghindari kerusakan peralatan, penting bagi setiap fasilitas atau bangunan untuk memiliki sistem pemantauan tegangan yang handal.

Kebutuhan akan kestabilan tegangan menjadi sangat vital, terutama di lingkungan yang menggunakan perangkat teknologi secara intensif, seperti pusat data, perkantoran, dan lembaga layanan publik [4]. Perkembangan infrastruktur teknologi informasi menuntut sistem kelistrikan yang aman dan efisien [5]. Oleh karena itu, perlu dikembangkan sistem pemantauan yang tidak hanya mampu mendeteksi fluktuasi tegangan secara real-time tetapi juga dapat diakses dari jarak jauh [6].

Dalam konteks tersebut, hasil observasi lapangan di Gedung C dan D Universitas Proklamasi 45 menunjukkan bahwa tegangan listrik di kedua gedung sering berfluktuasi pada kisaran 218–232 volt. Meskipun nilai tersebut masih berada dalam batas toleransi pelayanan, fluktuasi yang terjadi tetap berpotensi menimbulkan gangguan pada perangkat komputer dan peralatan elektronik lainnya yang digunakan secara intensif di lingkungan kampus. Kondisi ini menegaskan pentingnya penerapan sistem pemantauan tegangan yang akurat, real-time, dan dapat diakses dari jarak jauh, sehingga pengelola fasilitas dapat segera melakukan tindakan preventif untuk mencegah kerusakan perangkat akibat ketidakstabilan tegangan.

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah membuka peluang besar dalam pengembangan sistem pemantauan tegangan [7]. Melalui integrasi sensor tegangan, mikrokontroler seperti Arduino Uno, dan aplikasi pemantau berbasis cloud seperti Blynk, sistem ini dapat memberikan informasi secara real-time kepada pengguna [8]. Dengan pemantauan yang lebih akurat dan efisien, pengelola fasilitas dapat segera mengambil tindakan preventif saat terjadi anomali tegangan, sehingga risiko kerusakan perangkat dapat diminimalkan [9].

Berbagai penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mengembangkan sistem pemantauan tegangan dan daya listrik berbasis IoT. Salah satu penelitian mengembangkan alat monitoring tegangan, arus, daya, dan faktor daya menggunakan sensor ZPEM-004T dan aplikasi Blynk. Hasilnya menunjukkan akurasi pembacaan yang cukup baik, dengan tingkat kesalahan $\pm 1V$ untuk tegangan, $\pm 0,001A$ untuk arus, dan $\pm 0,1W$ untuk daya [10]. Penelitian lainnya mengembangkan sistem monitoring untuk rumah 900VA berbasis Arduino dan ESP32, yang mampu menampilkan parameter kelistrikan secara real-time di aplikasi Blynk dan menghasilkan error di bawah 5% [9].

Penelitian serupa juga dilakukan pada sistem monitoring daya listrik di ruangan-ruangan terpisah, yang menggunakan sensor PZEM-004T dan menghasilkan error pembacaan tegangan 0,47% serta arus 3,8% [11]. Sementara itu, ada pula penelitian yang menggabungkan sistem monitoring dengan fitur keamanan berupa deteksi arus bocor menggunakan sensor TA12-200 dan ZMPT101B. Sistem tersebut mampu memberikan peringatan saat arus bocor melebihi batas aman [12]. Sebagai alternatif teknologi, salah satu penelitian mengembangkan sistem berbasis Bluetooth untuk pemantauan energi listrik tanpa koneksi internet, yang tetap mampu memantau tegangan 110–250V AC melalui smartphone [13].

Berdasarkan kajian tersebut, dapat disimpulkan bahwa meskipun sudah banyak sistem monitoring tegangan berbasis IoT dikembangkan, penerapannya dalam skala institusional atau bangunan umum berskala menengah ke atas terkhusus di lingkungan institusi pendidikan dengan jaringan listrik multi-ruang masih jarang diteliti. Penelitian-penelitian sebelumnya lebih banyak berfokus pada aplikasi rumah tangga atau sistem berskala kecil. Belum ditemukan sistem yang secara spesifik dirancang untuk memantau tegangan listrik secara *real-time* dan terfokus pada kestabilan tegangan itu sendiri di fasilitas yang kompleks. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan tegangan berbasis IoT menggunakan Arduino Uno dan sensor ZMPT101B pada suatu bangunan multi-ruang. Sistem ini diharapkan mampu memberikan solusi pemantauan tegangan yang efisien, responsif, dan terjangkau, serta meningkatkan keamanan perangkat elektronik dari risiko kerusakan akibat fluktuasi tegangan sehingga mengurangi risiko kerusakan alat dan meningkatkan efisiensi operasional kampus.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan dua titik pengukuran utama, masing-masing di Gedung C dan Gedung D Universitas Proklamasi 45. Pada tiap gedung, sensor ZMPT101B dipasang di dua titik distribusi listrik utama (panel komputer laboratorium dan ruang administrasi) untuk mendapatkan representasi beban yang berbeda. Variasi beban listrik pada lokasi pengujian meliputi beban ringan (≤ 300 W) perangkat komputer *standby* dan pencahayaan ruangan, beban sedang (300–1000 W) penggunaan komputer aktif,

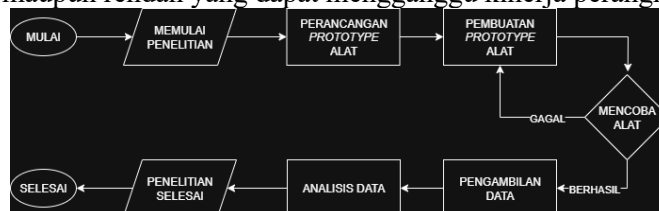
printer, dan pendingin ruangan ringan. Beban tinggi (>1000 W) penggunaan komputer laboratorium penuh dan AC berkapasitas besar.

Alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan *prototype* alat pemantauan tegangan listrik berbasis IoT terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak pendukung sistem. Perangkat keras yang digunakan meliputi Arduino Uno, sensor ZMPT101B, Wemos D1 R1, kabel voltmeter, box panel, adaptor, stop kontak, dan steker. Sedangkan perangkat lunak yang digunakan mencakup Arduino IDE, Draw.io, Fritzing, dan Blynk sebagai platform utama pemantauan tegangan secara *real-time*.

Data tegangan listrik dalam penelitian ini diperoleh melalui dua metode pengukuran, yaitu menggunakan dua alat prototipe berbasis IoT pada gedung C dan D dengan spesifikasi alat yang sama serta alat ukur manual berupa voltmeter analog dan multimeter sebagai pembanding. Pengujian dilakukan selama 28 hari kerja dengan pengambilan data dari beberapa ruangan yang memiliki beban perangkat elektronik cukup tinggi, terutama instalasi komputer. Dalam satu hari dilakukan empat sesi pengambilan data, dan setiap sesi menghasilkan tiga data: tegangan dari alat prototipe, tegangan dari voltmeter analog, dan tegangan dari multimeter. Rangkaian sesi pengambilan data tersebut dilakukan pada waktu beban puncak pemakaian listrik kampus, yaitu sesi I pada pukul 10.00–10.30 WIB, sesi II pada pukul 11.30–12.00 WIB, sesi III pada pukul 13.30–14.00 WIB, dan sesi IV pada pukul 14.30–15.00 WIB.

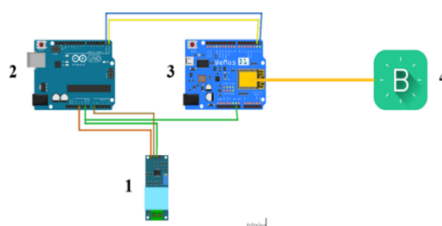
Pemilihan jam pengambilan data dilakukan berdasarkan hasil observasi lapangan dan data konsumsi energi kampus, di mana pada rentang waktu tersebut terjadi beban puncak aktivitas listrik. Hal ini memastikan bahwa alat diuji dalam kondisi paling fluktuatif sehingga dapat menggambarkan kemampuan sistem dalam mendeteksi variasi tegangan secara akurat. Selain itu, pengukuran dilakukan selama 28 hari kerja secara berkelanjutan untuk memperoleh data yang merepresentasikan kondisi operasional harian serta faktor lingkungan seperti suhu ruangan dan stabilitas jaringan listrik.

Hasil pengukuran kemudian dianalisis untuk mengevaluasi akurasi alat dengan membandingkannya terhadap alat ukur referensi. Rentang tegangan listrik pada lokasi pengujian berada di kisaran 220–226 volt, yang menunjukkan kondisi distribusi daya relatif stabil. Mengingat standar tegangan listrik di Indonesia adalah 220–240 volt, pemantauan tegangan secara berkala sangat penting untuk menghindari risiko tegangan tinggi maupun rendah yang dapat mengganggu kinerja perangkat elektronik.



Gambar 1 Flowchart Penelitian

Gambar di atas menggambarkan flowchart alur penelitian yang dimulai dari perencanaan awal, dilanjutkan dengan perancangan prototype alat pemantauan tegangan listrik menggunakan Arduino Uno, sensor ZMPT101B, dan modul Wemos D1 R1. Setelah proses perakitan, dilakukan pengujian untuk memastikan fungsi alat berjalan dengan baik. Jika ditemukan ketidaksesuaian, dilakukan perbaikan hingga alat berfungsi optimal. Alat yang telah diuji kemudian digunakan untuk mengukur tegangan listrik di Gedung C dan D, dengan hasil pengukuran dibandingkan menggunakan voltmeter analog dan multimeter guna menilai akurasi. Selanjutnya, data dianalisis untuk mengevaluasi keandalan dan presisi alat. Penelitian dinyatakan selesai setelah seluruh tahapan tersebut dilalui secara sistematis.



Gambar 2 Wiring Diagram

Gambar diatas menunjukkan wiring diagram yang menghubungkan Arduino Uno, Wemos D1 R1, sensor ZMPT101B, dan platform Blynk. Sensor ZMPT101B membaca tegangan listrik dan mengirimkan datanya ke Arduino Uno, yang kemudian meneruskan informasi tersebut ke Wemos D1 R1. Wemos D1 R1 berfungsi sebagai modul konektivitas yang mengirim data ke Blynk melalui jaringan WiFi. Selanjutnya, Blynk menampilkan data tegangan secara realtime sehingga memungkinkan pemantauan jarak jauh dengan mudah dan efisien.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam proses mengembangkan prototype alat pemantauan tegangan listrik, langkah-langkah yang dilakukan meliputi perancangan perangkat keras, kalibrasi sensor, pembuatan program mikrokontroler, dan pengintegrasian dengan *platform* IoT.

A. PEMBUATAN PROTOTYPE ALAT PEMANTAUAN TEGANGAN LISTRIK

Tahapan pada pembuatan *Prototype* alat pemantauan tegangan Listrik terbagi ke dalam 4 Proses :

1. Kalibrasi Sensor

Sebelum digunakan, sensor ZMPT101B harus dikalibrasi untuk meningkatkan akurasi pembacaan tegangan listrik. Proses ini dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap nilai tegangan referensi menggunakan voltmeter analog dan multimeter sebagai pembanding. Penyesuaian dilakukan dengan memutar potensiometer pada modul sensor hingga hasil pembacaan mendekati nilai sebenarnya. Kalibrasi ini penting agar data yang dikirim ke platform Blynk memiliki akurasi tinggi dan dapat diandalkan dalam pemantauan tegangan listrik secara *realtime*.

```
1 #include <Filters.h>
2
3 float testFrequency = 50; // signal frequency (Hz)
4 float windowLength = 40.0/testFrequency; // how long to average the signal, for statistit
5
6 int Sensor = 0;
7
8 float intercept = -0.04; // adjust untuk kalibrasi
9 float slope = 0.0004; // adjust untuk kalibrasi
10 float current_Volts;
11
12 unsigned long printPeriod = 1000; //Refresh rate
13 unsigned long previousMillis = 0;
14
15 void setup() {
16   Serial.begin( 9600 );
17   Serial.println("AC Voltmeter");
18   //delay(5000);
19 }
20
21 void loop() {
22
23   RunningStatistics inputStats;
24   inputStats.setWindowDecs( windowLength );
25
26   while( true ) {
27     Sensor = analogRead(A0); // read the analog in value:
28     inputStats.input(Sensor); // log to Stats function
29
30     if((unsigned long)(millis() - previousMillis) >= printPeriod) {
31       previousMillis = millis(); // update time every second
32
33       current_Volts = intercept + slope * inputStats.sigma(); //Calibrations for offset and amplitude
34       current_Volts= current_Volts*(49.3231); //Further calibrations for the amplitude
35
36       Serial.print( "Voltage: " );
37       Serial.println( current_Volts );
38
39     }
40   }
41 }
42 }
```

Gambar 3 Source code kalibrasi sensor ZMPT101B

2. Menyambungkan sensor dengan Arduino Uno

Untuk mewujudkan sistem pemantauan tegangan listrik berbasis Internet of Things (IoT), digunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pemroses data dari sensor ZMPT101B yang mengukur tegangan listrik pada instalasi Gedung C dan D. Data tersebut diteruskan ke modul Wemos D1 R1 untuk dikirim secara realtime ke platform Blynk, memungkinkan pemantauan jarak jauh melalui aplikasi seluler. Program dalam Arduino Uno ditulis menggunakan Arduino IDE dan berfungsi untuk mengatur pembacaan sensor serta memastikan data dikirim secara akurat dan berkelanjutan ke sistem pemantauan.

```

1 #include <filters.h>
2
3 float testFrequency = 50; // signal frequency (Hz)
4 float windowLength = 40.0 / testFrequency; // Window length for averaging
5
6 int Sensor = 0;
7
8 float intercept = -0.04; // Calibration offset
9 float slope = 0.0964; // Calibration slope
10 float current_Volts;
11
12 unsigned long printPeriod = 1000; // Refresh rate (ms)
13 unsigned long previousMillis = 0;
14
15 void setup() {
16   Serial.begin(115200); // Sesuaikan baud rate dengan Wemos
17   Serial.println("Arduino Uno: Mengirim data tegangan...");
18 }
19
20 void loop() {
21   RunningStatistics inputStats;
22   inputStats.setWindowSecs(windowLength);
23
24   while (true) {
25     Sensor = analogRead(A0); // Baca nilai dari sensor
26     inputStats.input(Sensor); // Simpan nilai ke statistik
27
28     if ((unsigned long)(millis() - previousMillis) >= printPeriod) {
29       previousMillis = millis();
30
31       current_Volts = intercept + slope * inputStats.sigma();
32       current_Volts = current_Volts * (49.3231); // Kalibrasi tambahan
33
34       Serial.println(current_Volts); // Kirim data ke Serial untuk dibaca oleh Wemos
35     }
36   }
37 }
38

```

Gambar 4 Source code menyambungkan sensor dengan Arduino Uno

3. Integrasi dengan *platform* IoT menggunakan Blynk

Integrasi sistem pemantauan tegangan listrik berbasis IoT dilakukan menggunakan modul Wemos D1 R1 yang dilengkapi chip ESP8266 dengan dukungan konektivitas WiFi. Modul ini menerima data tegangan dari Arduino Uno melalui komunikasi serial, lalu mengirimkannya secara nirkabel ke platform Blynk untuk ditampilkan. Konfigurasi Wemos D1 R1 menggunakan Arduino IDE memudahkan proses pengaturan dan koneksi ke jaringan WiFi, sehingga memungkinkan pemantauan kondisi tegangan listrik secara realtime dan jarak jauh melalui perangkat seluler.

```

1 #define BLYNK_PRINT Serial
2 #include <ESP8266WiFi.h>
3 #include <BlynkSimpleEsp8266.h>
4
5 // Ganti dengan Auth Token dari Blynk Legacy
6 char auth[] = "73AcewS4jczu3m7Hz0Jbg8j_3Z1qgN";
7 char ssid[] = "cobasatu";
8 char pass[] = "@cobasatu";
9
10 #define VIRTUAL_PIN V0 // Gedung C menggunakan V0
11
12 float voltage = 0.0;
13 float lastVoltage = -1.0; // Menyimpan tegangan sebelumnya untuk cek perubahan
14 unsigned long lastDataTime = 0;
15 const unsigned long dataTimeout = 5000; // Timeout 5 detik jika tidak ada data masuk
16
17 // Variabel untuk deteksi tegangan abnormal
18 unsigned long highVoltageStart = 0;
19 unsigned long lowVoltageStart = 0;
20 const long durationThreshold = 300000; // 5 menit dalam milidetik (300000 ms)
21
22 // Auto reconnect Blynk
23 unsigned long lastReconnectAttempt = 0;
24 const long reconnectInterval = 10000; // Coba reconnect setiap 10 detik
25
26 void setup() {
27   Serial.begin(115200);
28   Blynk.begin(auth, ssid, pass, "praktikblog.com", 8181);
29   Serial.println("Wemos D1 R1 Siap...");
30 }

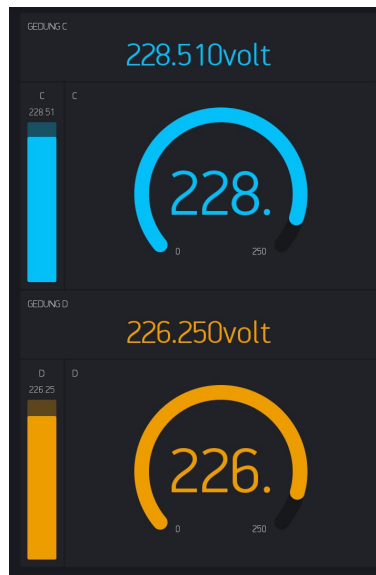
```

Gambar 5 Source code integrasi Blynk

4. Konfigurasi Blynk

Sistem pemantauan tegangan listrik berbasis IoT ini menggunakan Blynk sebagai antarmuka utama untuk menampilkan data tegangan secara realtime. Platform Blynk dikonfigurasi agar dapat menerima data dari modul Wemos D1 R1

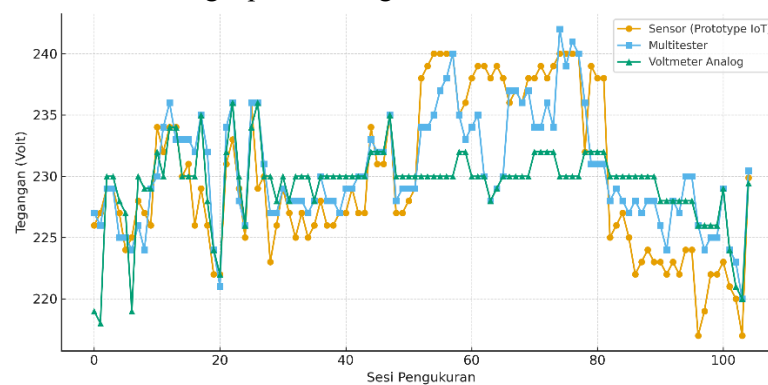
dan menampilkannya dalam bentuk visual interaktif, sehingga memudahkan pengguna dalam memahami kondisi tegangan listrik. Proses konfigurasi dimulai dengan pembuatan proyek baru, pemilihan perangkat ESP8266, serta pengaturan koneksi menggunakan Auth Token yang diintegrasikan ke program mikrokontroler. Antarmuka Blynk menampilkan data melalui komponen seperti Gauge, Level V, dan Labeled Value untuk memberikan representasi tegangan dalam berbagai format indikator.



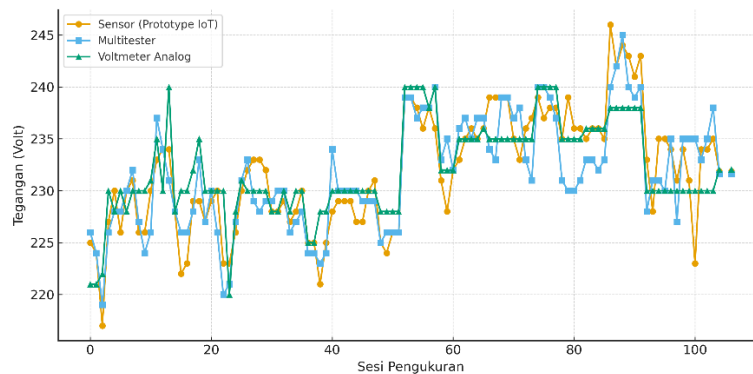
Gambar 6 *Widget Blynk*

B. PENGUJIAN PROTOTYPE ALAT PEMANTAUAN TEGANGAN LISTRIK

Hasil pengujian *prototype* alat pemantauan tegangan listrik diperoleh dalam bentuk nilai tegangan (voltase). Untuk memastikan keakuratan pengukuran, data tegangan juga diambil dari voltmeter analog yang terpasang pada *prototype*. Selain itu, pengukuran dilakukan menggunakan multimeter sebagai pembanding tambahan.



Gambar 7 Pengambilan data tegangan gedung C selama 28 Hari



Gambar 8 Pengambilan data tegangan gedung D selama 28 hari

Dari 28 hari pengambilan data di ambil nilai rata-rata antara pengukuran sensor, voltmeter analog, dan multimeter :

Tabel 1 Nilai rata-rata pengukuran dari sensor, voltmeter analog, dan multimeter setiap gedung

Gedung	Sensor	Multimeter	Voltmeter Analog
C	231,865 V	231,615 V	232,057 V
D	229,894 V	230,442 V	229,423 V

Dari setiap gedung dapat di hitung persentase keakuratan dari prototype alat pemantauan tegangan listrik. Nilai yang ditampilkan oleh sensor di bandingkan dengan nilai dari voltmeter analog dan multimeter [14]. Berikut penghitungan persentase keakuratan dari prototype alat pemantauan tegangan listrik :

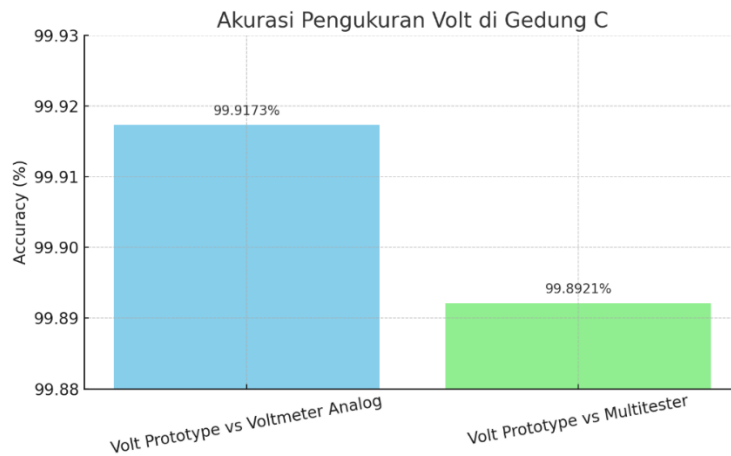
$$Keakuratan = \left(1 - \frac{(V Prototype - V Pemanding)}{V Pemanding} \right) \times 100 \tag{1}$$

1 – : Mengonversi selisih antara hasil pengukuran menjadi ukuran keakuratan.

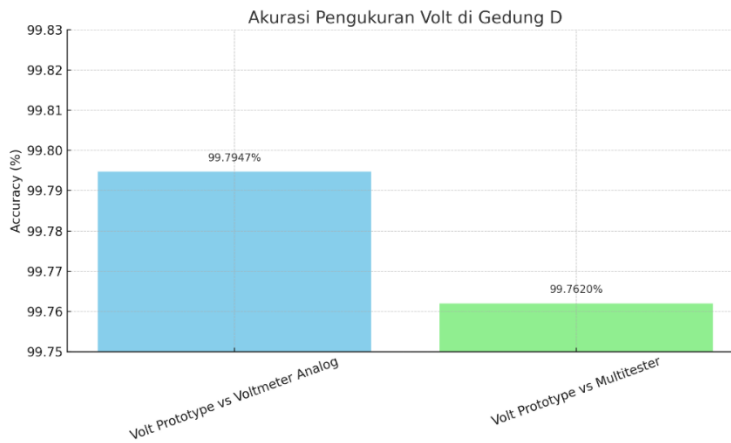
V Prototype : Nilai tegangan listrik yang diukur oleh prototipe alat.

V Pemanding : Nilai tegangan listrik yang diukur menggunakan voltmeter analog atau multimeter sebagai alat pembanding.

Berikut adalah grafik diagram hasil penghitungan *presentase* keakuratan *prototype* alat pemantauan tegangan Listrik :



Gambar 9 Presentase keakuratan *prototype* alat pada gedung C



Gambar 10 Presentase keakuratan *prototype* alat pada gedung D

C. ERROR RATE PROTOTYPE ALAT PEMANTAUAN TEGANGAN LISTRIK

Untuk mengevaluasi tingkat ketelitian pengukuran alat, diperlukan analisis error rate sebagai indikator akurasi sistem. Melalui *error rate*, dapat diketahui sejauh mana alat mampu merepresentasikan kondisi tegangan listrik yang sebenarnya di lapangan. Perhitungan error rate dilakukan menggunakan metode Mean Absolute Percentage Error (MAPE) [15].

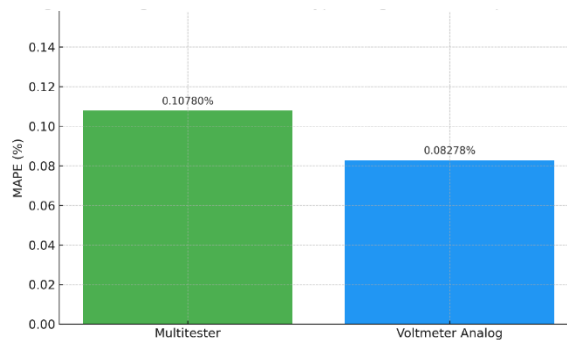
$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{At - Ft}{At} \right| \times 100\% \tag{2}$$

At = Nilai aktual (dari voltmeter analog atau multimeter)

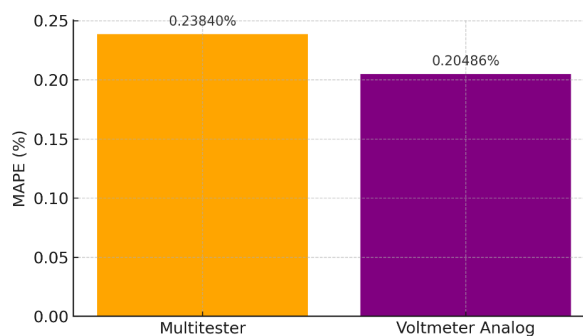
Ft = Nilai prediksi (dari sensor)

n = Jumlah data (104 data)

Berikut adalah grafik diagram hasil penghitungan MAPE pada *prototype* alat pemantauan tegangan listrik :



Gambar 11 MAPE Gedung C



Gambar 12 MAPE Gedung D

Sebagai perbandingan, penelitian oleh Ma'ruf dkk., [10] memperoleh error sebesar ± 1 V, sedangkan Prasetyo dkk., [11] melaporkan error tegangan 0,47%. Sementara itu, penelitian Putri dkk., [9] yang menggunakan ESP32 mencatat error di bawah 5% untuk aplikasi rumah tangga. Jika dibandingkan, sistem pada penelitian ini menghasilkan akurasi rata-rata 99,85%, sehingga lebih unggul baik dari sisi kestabilan pembacaan maupun presisi terhadap alat ukur referensi. Peningkatan akurasi ini disebabkan oleh proses kalibrasi manual sensor ZMPT101B pada tiap titik pengukuran dan pengambilan data pada jam puncak beban listrik, yang memungkinkan sistem menangkap variasi tegangan secara lebih realistis. Dengan demikian, penelitian ini memperkuat bukti bahwa implementasi IoT berbasis Arduino Uno dan Wemos D1 R1 dengan sensor ZMPT101B efektif untuk monitoring tegangan pada bangunan institusional berskala menengah, bukan hanya aplikasi rumah tangga sebagaimana riset-riset terdahulu.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa prototype alat pemantauan tegangan listrik berbasis IoT berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan mengintegrasikan sensor ZMPT101B, mikrokontroler Arduino Uno, dan modul Wemos D1 R1. Alat ini mampu membaca tegangan listrik secara kontinu setiap 1 detik dan mengirimkan data secara real-time ke platform Blynk melalui koneksi WiFi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tingkat akurasi alat cukup tinggi, dengan nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) di Gedung C sebesar 0,1078% terhadap multimeter dan 0,08278% terhadap voltmeter analog, sedangkan di Gedung D sebesar 0,2384% terhadap multimeter dan 0,20486% terhadap voltmeter analog. Namun demikian, alat ini memiliki beberapa kekurangan, seperti ketergantungan pada koneksi WiFi, belum adanya proteksi fisik saat tegangan melebihi batas aman, skala pengujian yang masih terbatas, kalibrasi sensor yang dilakukan manual, ketiadaan sumber daya cadangan, serta belum diuji terhadap gangguan elektromagnetik.

Berdasarkan hasil tersebut, disarankan agar sistem dikembangkan lebih lanjut dengan melakukan

migrasi dari Blynk Legacy ke platform Blynk terbaru atau alternatif lain seperti Node-RED, ThingsBoard, atau MQTT Dashboard. Keandalan alat dapat ditingkatkan melalui penambahan sistem koneksi cadangan menggunakan modul GSM/4G dan penyimpanan data lokal pada SD card. Selain itu, pengembangan fitur pemantauan parameter listrik lain seperti arus, frekuensi, serta daya aktif dan reaktif dapat memberikan informasi yang lebih lengkap. Kalibrasi sensor juga perlu dilakukan secara berkala untuk menjaga akurasi pembacaan tegangan akibat pengaruh lingkungan dan perubahan karakteristik komponen elektronik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Zulkarnaini, R. Sinambela, L. Lisapaly, and M. Manik, 'Analisis Pengukuran Harmonisa Tegangan Dan Arus Listrik Di Gedung Administrasi Universitas Jayabaya', *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 26, no. 3, pp. 132–138, Jul. 2024, doi: 10.14710/transmisi.26.3.132-138.
- [2] R. Junito, D. Eka Putra, and R. Ahmad Yani, 'Pengaruh Fluktuasi Tegangan Akibat Black Out Pada Saluran Distribusi 20 KV Terhadap Kinerja Arrester', *Jurnal Ampere*, vol. 10, no. 1, pp. 117–124, Jun. 2025, doi: 10.31851/ampere.
- [3] I. M. A. P. Adnyana, G. D. Arjana, and I. W. A. Wijaya, 'Analisis Pengaruh Cuaca Terhadap Perubahan Pembebanan Listrik Pada PT. PLN (Persero) Rayon Denpasar', Denpasar, Mar. 2020.
- [4] W. S. Salama, A. Arief, and N. Harun, 'Analisis Kestabilan Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik Sulbagsel Akibat Hilangnya Beban Besar', *Jurnal Eksitasi*, vol. 1, no. 1, pp. 28–33, 2022.
- [5] B. Nurdiansyah, Z. Tharo, and A. Solly, 'Analisa Pemakaian Energi Listrik Pada Gedung Kantor CV. Karya Sembilan Kota Medan', *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 12, no. 3, pp. 181–188, Dec. 2023.
- [6] F. Pandansari, H. Prasetyo, and Y. T. Tularsih, 'Analisa Pengembangan Sistem Pemantau Daya Listrik Berbasis IoT', *Jurnal Teknik*, vol. 19, no. 2, pp. 120–129, Dec. 2021, doi: 10.37031/jt.v19i2.185.
- [7] E. D. K. M. Pakpahan, N. Rachmaningrum, and R. M. Untsa, 'Rancang Bangun Sistem Pemantauan Dan Pengaturan Penggunaan Daya Di Industri Perumahan Pada Tegangan 3 Fasa Berbasis IoT', *e-Proceeding of Engineering*, vol. 12, no. 2, pp. 2525–2534, Apr. 2025.
- [8] F. F. Mubina and G. Firasanto, 'Pemantauan dan Pengendalian Pemakaian Energi Listrik Berbasis IoT', *EPIC Journal of Electrical Power Instrumentation and Control*, vol. 5, no. 2, p. 216, Jan. 2023, doi: 10.32493/epic.v5i2.28419.
- [9] A. O. Putri, T. Tohir, and F. A. S. Putra, 'Rancang Bangun Sistem Monitoring Daya Listrik Rumah 900VA Berbasis Arduino Uno dan Node MCU ESP32 Melalui Aplikasi Blynk', *Prosiding the 15th Industrial Research Workshop and National Seminar*, pp. 24–25, Jul. 2024.
- [10] A. Ma'ruf, R. Purnama, and K. E. Susilo, 'Rancang Bangun Alat Monitoring Tegangan, Arus, Daya, dan Faktor Daya Berbasis IoT', *Jurnal Sistem Komputer dan Kecerdasan Buatan*, vol. 5, pp. 81–86, Sep. 2021.
- [11] R. H. Prasetyo and S. Hidayatulloh, 'Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik Berbasis Internet Of Things Menggunakan Aplikasi BLYNK', *E-Prosiding Teknik Informatika*, vol. 3, no. 2, pp. 275–286, Nov. 2022.
- [12] M. U. Abdillah, Basirun, and S. W. Jadmiko, 'Rancang Bangun Sistem Monitoring Daya Listrik dan Pengaman Arus Bocor Berbasis Arduino Uno', *Prosiding The 13th Industrial Research Workshop and National Seminar*, pp. 13–14, Jul. 2022.
- [13] F. Faizah, Suwito, L. S. Moonlight, and R. E. Primadi, 'Pengendalian dan Pemantauan Pemakaian Energi Listrik Menggunakan Teknologi Bluetooth', *Jurnal Penelitian Politeknik Penerbangan Surabaya Edisi XXXII*, vol. 6, no. 2, 2021.
- [14] J. Pearce, 'Rumus untuk Menghitung Akurasi Perkiraan', callcentrehelper. Accessed: May 22, 2025. [Online]. Available: <https://www.callcentrehelper.com/calculate-forecast-accuracy-113808.htm>
- [15] E. Didik, 'Mengukur Error dalam Forecasting', Binus University.