



Perancangan Sistem Pemantauan Tegangan DC 110 Volt Berbasis IoT pada Gardu Induk Ciamis

Azhari Khusaini Siregar*, Ari Yuliati, Eddy Samsoleh

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Tasikmalaya

siregar.a4@gmail.com*

Abstrak

Gardu induk merupakan bagian penting dalam sistem tenaga listrik yang menggunakan arus langsung (DC) 110 V sebagai sumber energi bagi peralatan proteksi, kontrol, dan Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA). Sistem DC dengan konfigurasi floating terhadap Ground memerlukan pemantauan tegangan total baterai (V_{total}), tegangan positif terhadap Ground (V_{pos}), dan tegangan negatif terhadap Ground (V_{neg}) untuk mendeteksi kondisi abnormal secara dini. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem pemantauan tegangan DC 110 V berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 pada Gardu Induk Ciamis. Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan model pengembangan ADDIE yang meliputi tahap analisis, desain, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Sistem dirancang menggunakan ESP32, ADS1115, rangkaian pembagi tegangan, Graphic LCD 128×64, serta terintegrasi dengan Blynk, ThingSpeak, dan Telegram untuk monitoring waktu nyata, penyimpanan data historis, dan notifikasi gangguan. Pengujian dilakukan menggunakan simulator DC dan multimeter Fluke sebagai alat ukur referensi terhadap 100 titik data untuk setiap parameter. Hasil pengujian menunjukkan error V_{total} sebesar 0,09–0,38% dengan slope regresi 1,0055 dan R^2 0,9991, V_{pos} sebesar 0,11–0,49% dengan slope 0,9970 dan R^2 0,9992, serta V_{neg} sebesar 0,01–0,69% dengan slope 0,9994 dan R^2 0,9999. Seluruh nilai error berada di bawah batas toleransi 5%. Pengujian kondisi normal dan anomali juga menunjukkan sistem mampu mendeteksi ketidakseimbangan floating, mengaktifkan buzzer, serta mengirimkan notifikasi Telegram. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan mampu melakukan pemantauan tegangan secara akurat dan terintegrasi serta berpotensi mendukung deteksi dini gangguan dan peningkatan keandalan sistem DC pada gardu induk.

Kata kunci: Direct Current (DC), Internet of Things (IoT), Gardu Induk, Pemantauan Tegangan, ESP32.

Abstract

Substations are important components of electric power systems that use a 110 V Direct Current (DC) supply for protection, control, and Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) equipment. A floating DC system requires monitoring of total battery voltage (V_{total}), positive-to-ground voltage (V_{pos}), and negative-to-ground voltage (V_{neg}) to detect abnormal conditions early. This study aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based 110 V DC voltage monitoring system using an ESP32 microcontroller at Ciamis Substation. The study employed an experimental method with the ADDIE development model, consisting of analysis, design, development, implementation, and evaluation. The system uses ESP32, ADS1115, voltage divider circuits, a 128×64 Graphic LCD, and integrates Blynk, ThingSpeak, and Telegram for real-time monitoring, historical data storage, and fault notifications. Testing used a DC simulator and Fluke multimeter as reference instruments, with 100 data points for each parameter. The results showed errors of 0.09–0.38% for V_{total} , 0.11–0.49% for V_{pos} , and 0.01–0.69% for V_{neg} . All errors were below the 5% tolerance limit, with regression R^2 values above 0.999. The system also successfully detected floating voltage imbalance, activated the buzzer, and sent Telegram notifications during abnormal conditions. Therefore, the developed system provides accurate and integrated voltage monitoring and can support early fault detection and improve DC system reliability at substations.

Keywords: Direct Current (DC), Internet of Things (IoT), Substation, Voltage Monitoring, ESP32

1. Pendahuluan

Gardu induk merupakan salah satu bagian penting dalam sistem tenaga listrik yang berperan dalam proses pengaturan, pengendalian, serta pengamanan penyaluran energi listrik dari sistem transmisi menuju sistem distribusi. Keandalan gardu induk sangat berpengaruh terhadap kontinuitas penyaluran tenaga listrik kepada konsumen. Oleh karena itu, seluruh peralatan dan sistem pendukung yang terdapat di dalam gardu induk harus mampu beroperasi dengan baik serta memiliki tingkat keandalan yang tinggi (Tong et al, 2022).

Salah satu sistem pendukung yang memiliki peran krusial dalam menjamin kontinuitas penyaluran tenaga listrik adalah sistem catu daya DC 110 VDC dengan konfigurasi floating terhadap ground, yang digunakan sebagai sumber utama bagi peralatan proteksi, kontrol, dan SCADA. Keseimbangan tegangan positif terhadap ground (V_{pos}) dan negatif terhadap ground (V_{neg}), serta tegangan total baterai (V_{total}), dapat digunakan sebagai indikator dini untuk mendeteksi gangguan isolasi atau kebocoran arus sesuai dengan ketentuan operasional PT PLN (Persero) dan standar keandalan sistem DC (Humainah et al, 2023). Pada praktiknya, pemantauan parameter tersebut di Gardu Induk Ciamis masih dilakukan secara manual dan berkala menggunakan alat ukur. Kondisi tersebut menyebabkan gangguan atau kondisi abnormal yang terjadi di luar jadwal pemeriksaan sulit terdeteksi secara cepat, sehingga berpotensi menurunkan tingkat keandalan sistem tenaga listrik.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem pemantauan tegangan baterai berbasis mikrokontroler dan IoT. Triyanto dan Syaepudin (2023) merancang sistem pemantauan tegangan baterai 110 VDC gardu induk berbasis IoT dengan mikrokontroler dan platform Blynk yang mampu menampilkan data tegangan secara waktu nyata melalui antarmuka daring, sehingga memudahkan pengawasan jarak jauh; namun sistem tersebut masih terbatas pada pengukuran tegangan total baterai saja dan belum menganalisis keseimbangan tegangan sisi positif maupun negatif terhadap ground yang menjadi parameter krusial pada konfigurasi floating. Prasetya (2025) mengembangkan perangkat tertanam berbasis IoT yang diterapkan langsung pada gardu induk untuk mengukur tegangan baterai secara real-time menggunakan mikrokontroler, namun fokusnya lebih bersifat umum pada kondisi tegangan baterai tanpa secara khusus mengkaji distribusi tegangan terhadap ground. Santoso (2024) memanfaatkan mikrokontroler ESP32 terintegrasi platform cloud untuk memantau parameter kelistrikan secara waktu nyata dan mengirimkan data jarak jauh, yang terbukti efektif dalam mempermudah pengawasan, tetapi penelitian tersebut tidak ditujukan secara spesifik pada sistem catu daya DC 110 VDC gardu induk. Dwiyani (2022) membangun sistem pemantauan performa baterai berbasis IoT yang mampu mengumpulkan data kondisi baterai secara kontinu dan real-time sehingga memudahkan analisis berkelanjutan, namun objeknya berupa battery pack lithium-ion yang berbeda karakteristiknya dengan baterai lead-acid 110 VDC pada gardu induk. Fauzan (2024) mengintegrasikan ESP8266 dengan platform Blynk untuk sistem manajemen baterai yang memantau tegangan secara daring, namun penerapannya terbatas pada equipment room stasiun dan belum mencakup konteks gardu induk. Penelitian lain seperti Srun (2024) yang mengembangkan sistem monitoring penggunaan energi listrik berbasis ESP32 untuk membaca parameter listrik dan mengirimkannya melalui jaringan internet, serta Haryudo (2023) yang menerapkan IoT dan notifikasi Telegram pada sistem PLTS on-grid untuk memantau tegangan dan arus, turut menunjukkan kemampuan teknologi IoT dalam pengiriman data dan peringatan, tetapi objek penelitian keduanya tidak spesifik pada sistem DC floating gardu induk. Analisis bibliometrik menggunakan perangkat lunak VOSviewer terhadap publikasi ilmiah dengan kata kunci DC system, battery monitoring, IoT, dan substation semakin memperkuat temuan bahwa meskipun penelitian terkait pemantauan baterai berbasis IoT telah berkembang, keterkaitan dengan pemantauan tegangan terhadap ground pada sistem floating gardu induk masih relatif lemah dan jarang dibahas secara mendalam.

Sebagian besar studi tersebut masih terbatas pada pemantauan tegangan total baterai tanpa menganalisis secara khusus keseimbangan V_{pos} dan V_{neg} sebagai parameter kunci isolasi pada sistem floating 110 VDC. Integrasi tampilan lokal, penyimpanan data historis berbasis cloud, serta sistem notifikasi gangguan dalam satu platform terpadu juga jarang diimplementasikan secara komprehensif pada konteks gardu induk. Celah ini menciptakan urgensi pengembangan sistem yang mampu memantau ketiga parameter secara simultan, memberikan peringatan dini, dan mendukung pengambilan keputusan pemeliharaan yang lebih responsif guna meningkatkan keandalan operasional.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem pemantauan tegangan DC berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 pada sistem DC Gardu Induk Ciamis yang mampu mengukur V_{total} , V_{pos} , dan V_{neg} secara waktu nyata, menampilkan data melalui LCD lokal, mengirimkan informasi jarak jauh via Blynk dan ThingSpeak, serta memberikan notifikasi gangguan melalui Telegram, dilengkapi pengujian akurasi terhadap alat ukur referensi menggunakan simulator sumber tegangan DC variabel. Kebaruan terletak pada integrasi lengkap parameter floating-ground monitoring dengan multi-platform IoT dalam satu sistem terpadu yang spesifik untuk aplikasi gardu induk, yang belum banyak ditemukan pada penelitian sebelumnya.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan rancang bangun yang bertujuan untuk merancang, merealisasikan, dan mengevaluasi sistem pemantauan tegangan DC 110 V berbasis IoT pada sistem catu daya DC Gardu Induk Ciamis. Metode eksperimen dipilih karena penelitian dilaksanakan melalui proses

perancangan perangkat, perakitan, pemrograman, pengujian pada kondisi tegangan terkontrol, pengukuran langsung, serta analisis hasil (Triyanto & Syaepudin, 2023). Pengembangan sistem mengikuti model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation*) sebagai kerangka sistematis mulai dari identifikasi kebutuhan hingga evaluasi kinerja.

Alat penelitian yang digunakan dalam perancangan, perakitan, pemrograman, dan pengujian sistem terdiri atas sepuluh jenis perangkat keras. Perangkat tersebut meliputi laptop/PC untuk pemrograman, konfigurasi, pengolahan data, dan penyusunan hasil; multimeter Fluke sebagai alat ukur referensi tegangan; mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali sistem; modul ADS1115 untuk pembacaan tegangan melalui ADC eksternal; Graphic LCD 128×64 untuk menampilkan hasil monitoring secara lokal; buzzer sebagai indikator suara; push button untuk memberikan input manual; modul HLK-PM01 sebagai penyedia catu daya DC; breadboard sebagai media perakitan dan pengujian rangkaian; serta kabel penghubung untuk menghubungkan antarbagian rangkaian.

Tabel 1. Alat Penelitian

No.	Nama Alat	Fungsi
1	Laptop/PC	Pemrograman, konfigurasi, pengolahan data, dan penyusunan hasil penelitian
2	Multimeter Fluke	Alat ukur referensi dalam pengujian tegangan
3	ESP32	Pengendali sistem pada perangkat yang dirancang
4	ADS1115	Pembacaan tegangan melalui ADC eksternal
5	Graphic LCD 128×64	Menampilkan hasil monitoring secara lokal
6	Buzzer	Memberikan indikator suara
7	Push Button	Memberikan input manual pada sistem
8	HLK-PM01	Menyediakan catu daya DC untuk rangkaian elektronik
9	Breadboard/rangkaian prototipe	Media perakitan dan pengujian rangkaian
10	Kabel penghubung	Menghubungkan antarbagian rangkaian

Perangkat lunak yang mendukung proses pemrograman, konfigurasi, monitoring, penyimpanan data, dan pengolahan hasil pengujian terdiri atas delapan komponen. Komponen tersebut mencakup Arduino IDE untuk pemrograman dan pengunggahan program ke ESP32, bahasa pemrograman C/C++, library ADS1115 untuk komunikasi dan pembacaan data, library Graphic LCD untuk mengatur tampilan, platform Blynk untuk monitoring parameter melalui jaringan, ThingSpeak untuk penyimpanan dan visualisasi data, Telegram Bot untuk pengiriman notifikasi dan informasi sistem, serta Microsoft Excel untuk pengolahan dan analisis data hasil pengujian.

Tabel 2. Perangkat Lunak

No.	Perangkat Lunak/Platform	Fungsi
1	Arduino IDE	Pemrograman dan pengunggahan program ke ESP32
2	C/C++	Bahasa pemrograman sistem
3	Library ADS1115	Mendukung komunikasi dan pembacaan ADS1115
4	Library Graphic LCD	Mengatur tampilan LCD
5	Blynk	Monitoring parameter melalui jaringan
6	ThingSpeak	Penyimpanan dan visualisasi data
7	Telegram Bot	Pengiriman notifikasi dan informasi sistem
8	Microsoft Excel	Pengolahan dan analisis data hasil pengujian

Spesifikasi sistem ditetapkan sebagai berikut: mikrokontroler ESP32, ADC ADS1115, parameter pengukuran V_{total} , V_{pos} , dan V_{neg} , rangkaian pembagi tegangan menggunakan resistor 51 k Ω dan 680 Ω , tampilan lokal Graphic LCD 128×64, monitoring jarak jauh melalui Blynk, penyimpanan data pada ThingSpeak, notifikasi Telegram, indikator lokal buzzer, input manual push button, komunikasi Wi-Fi, dan alat ukur referensi multimeter Fluke. Objek pengujian direpresentasikan melalui simulator sumber tegangan DC variabel agar kondisi V_{total} , V_{pos} , dan V_{neg} dapat diatur secara terkontrol (Fuada et al., 2022).

Tabel 3. Spesifikasi Sistem

No.	Parameter/Bagian	Spesifikasi
1	Mikrokontroler	ESP32
2	ADC	ADS1115
3	Parameter pengukuran	Vtotal, Vpos, Vneg
4	Rangkaian pengukuran	Pembagi tegangan
5	Resistor pembagi tegangan	51 k Ω dan 680 Ω
6	Tampilan lokal	Graphic LCD 128×64
7	Monitoring jarak jauh	Blynk
8	Penyimpanan data	ThingSpeak
9	Notifikasi	Telegram
10	Indikator lokal	Buzzer
11	Input manual	Push Button
12	Komunikasi	Wi-Fi
13	Alat ukur referensi	Multimeter Fluke

Pelaksanaan penelitian mengikuti sepuluh tahap berurutan yang saling berkaitan. Tahap-tahap tersebut meliputi identifikasi masalah, studi literatur, analisis kebutuhan, perancangan sistem, realisasi sistem, integrasi sistem, pengujian sistem, pengumpulan data, analisis data, dan penarikan kesimpulan. Setiap tahap memiliki tujuan spesifik dan hasil tahap sebelumnya menjadi dasar pelaksanaan tahap berikutnya.



Gambar 1. Alur Pelaksanaan Penelitian

Alur keseluruhan penelitian digambarkan secara sistematis dalam bentuk flowchart. Proses dimulai dari identifikasi masalah, dilanjutkan dengan studi literatur, analisis kebutuhan sistem, perancangan sistem, realisasi sistem, integrasi sistem, pengujian sistem, pengumpulan data (Vtotal, Vpos, Vneg, dan fungsi sistem), analisis data menggunakan error, akurasi, regresi linear, dan R², hingga penarikan kesimpulan dan diakhiri dengan status selesai.



Gambar 2. Flowchart Penelitian

Pengumpulan data dilakukan setelah sistem terintegrasi. Data utama berupa pasangan nilai V_{total} , V_{pos} , dan V_{neg} hasil pembacaan sistem dan pengukuran multimeter Fluke pada kondisi yang sama (format pengumpulan data ditunjukkan pada Tabel 4). Selain itu dikumpulkan data pengujian fungsi sistem yang mencakup tampilan lokal, pengiriman data ke Blynk dan ThingSpeak, penerimaan notifikasi Telegram, serta respons buzzer dan push button.

Tabel 4. Format Pengumpulan Data Pengukuran

NO	V_{total}		V_{pos}		V_{neg}	
	Referensi	Sistem	Referensi	Sistem	Referensi	Sistem
1						
2						
3						
....						
100						

Analisis data dilakukan terhadap pasangan nilai referensi dan sistem. Error pengukuran dihitung dengan persamaan.

$$Error(\%) = \frac{V_{referensi} - V_{sistem}}{V_{referensi}} \times 100\%$$

dengan V_{sistem} adalah nilai pembacaan sistem dan $V_{referensi}$ adalah nilai pengukuran multimeter. Akurasi diperoleh melalui

$$Akurasi(\%) = 100\% - Error(\%)$$

Hubungan linear antara nilai referensi (x) dan nilai sistem (y) dianalisis menggunakan regresi linear

$$y = a + bx$$

dengan a sebagai konstanta regresi dan b sebagai koefisien regresi. Kekuatan hubungan linear dievaluasi melalui nilai R^2 yang berada pada rentang 0 hingga 1. Analisis juga mencakup kesesuaian fungsi monitoring dan sistem peringatan terhadap rancangan (IEEE Power & Energy Society, 2020).

Penelitian dilaksanakan di ULTG Ciamis Gardu Induk Ciamis pada periode Januari hingga Agustus 2026, mencakup tahapan studi literatur, perancangan, realisasi, pengujian, pengambilan data, analisis, dan penyusunan laporan.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis kebutuhan dilakukan untuk menetapkan fungsi yang harus dipenuhi oleh sistem monitoring tegangan DC 110 V berbasis IoT. Sistem dirancang untuk memantau tiga parameter utama, yaitu V_{total} , V_{pos} , dan V_{neg} , menampilkan hasil secara lokal, mengirimkan data melalui jaringan, menyimpan data hasil monitoring, serta memberikan pemberitahuan ketika kondisi tertentu terpenuhi. Berdasarkan kebutuhan tersebut, sistem dibagi menjadi fungsi pengukuran, pengolahan data, tampilan lokal, monitoring jarak jauh, penyimpanan data, dan pemberian peringatan.

Kebutuhan fungsional sistem mencakup kemampuan membaca V_{total} , V_{pos} , dan V_{neg} ; mengolah hasil pembacaan menjadi nilai tegangan; menampilkan hasil pada LCD; mengirimkan data monitoring melalui jaringan; menyimpan data untuk melihat perubahan nilai; mengirimkan notifikasi melalui Telegram; memberikan peringatan menggunakan buzzer; mengendalikan buzzer dengan push button; serta memungkinkan evaluasi pengukuran terhadap alat ukur referensi. Kebutuhan pengukuran menekankan penggunaan rangkaian pembagi tegangan karena tegangan objek melebihi rentang masukan ADC. Kebutuhan perangkat keras meliputi ESP32 sebagai pengendali utama, ADS1115, resistor 51 k Ω dan 680 Ω , HLK-PM01, LCD ST7920 128 $\times$ 64, buzzer, push button, kabel, multimeter Fluke, dan simulator DC. Kebutuhan perangkat lunak mencakup Arduino IDE, library ADS1115 dan LCD, Blynk, ThingSpeak, Telegram, Microsoft Excel, serta Python. Analisis ini sejalan dengan pendekatan rancang bangun sistem monitoring berbasis IoT pada sistem catu daya DC (Triyanto & Syaepudin, 2023).

Tabel 5. Kebutuhan Fungsional Sistem

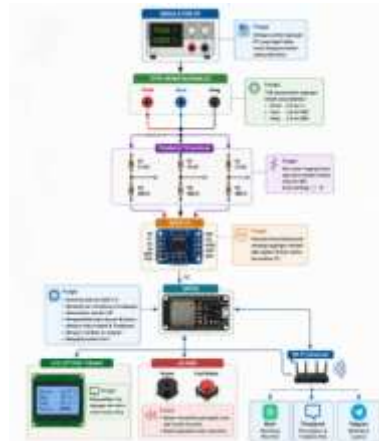
No.	Fungsi	Kebutuhan
1	Pengukuran	Sistem mampu membaca V_{total} , V_{pos} , dan V_{neg}
2	Pengolahan	Sistem mampu mengolah hasil pembacaan menjadi nilai tegangan
3	Tampilan lokal	Sistem mampu menampilkan hasil pengukuran pada LCD
4	Monitoring jarak jauh	Sistem mampu mengirimkan data monitoring melalui jaringan
5	Penyimpanan data	Data hasil monitoring dapat disimpan untuk melihat perubahan nilai
6	Notifikasi	Sistem mampu mengirimkan pemberitahuan melalui Telegram ketika kondisi tertentu terpenuhi
7	Indikator alarm	Sistem mampu memberikan peringatan menggunakan Buzzer
8	Pengendalian alarm	Buzzer dapat dikendalikan menggunakan Push Button
9	Evaluasi pengukuran	Hasil pembacaan dapat dibandingkan dengan alat ukur referensi

Tabel 6. Kebutuhan Perangkat Lunak

No.	Perangkat/Platform	Fungsi
1	Arduino IDE	Pengembangan dan pengunggahan program
2	Library ADS1115	Komunikasi dengan ADS1115
3	Library LCD	Pengendalian tampilan LCD
4	Blynk	Monitoring data melalui perangkat pengguna
5	ThingSpeak	Penyimpanan dan visualisasi data
6	Telegram	Pengiriman notifikasi dan laporan
7	Microsoft Excel	Penyimpanan dan pengorganisasian data hasil pengujian
8	Python	Pengolahan dan analisis data hasil uji

Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras merealisasikan kebutuhan sistem menjadi rangkaian elektronik yang mampu melakukan monitoring tegangan DC. Sistem menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama dan ADS1115 sebagai ADC eksternal. Tegangan dari simulator DC terlebih dahulu melewati rangkaian pembagi tegangan sebelum masuk ke ADS1115, kemudian data digital dikirim melalui I²C ke ESP32 untuk diolah menjadi nilai V_{total}, V_{pos}, dan V_{neg}. Hasil pengolahan digunakan untuk tampilan LCD, pengendalian alarm, serta pengiriman data melalui Wi-Fi. Diagram blok perangkat keras menunjukkan alur lengkap sistem monitoring tegangan DC. Alur dimulai dari simulator DC sebagai sumber masukan, dilanjutkan ke titik pengukuran V_{total}, V_{pos}, dan V_{neg}, kemudian melewati rangkaian pembagi tegangan, ADS1115 sebagai ADC eksternal, ESP32 sebagai pengendali utama, hingga perangkat keluaran berupa LCD, buzzer, push button, serta komunikasi jaringan ke platform Blynk, ThingSpeak, dan Telegram.

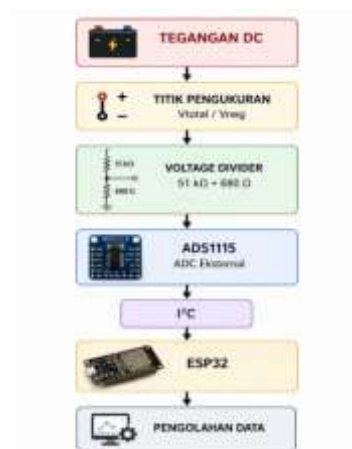


Gambar 3. Diagram Blok Perangkat Keras Sistem Monitoring DC

Rangkaian pembagi tegangan menggunakan resistor 51 k Ω (R₁) dan 680 Ω (R₂) dengan persamaan

$$V_{ADC} = V_{in} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

sehingga diperoleh rasio 0,01316. Pada tegangan maksimum simulator 106 V, tegangan teoritis yang masuk ke ADS1115 adalah 1,395 V. Nilai tersebut masih berada dalam rentang pengukuran GAIN_TWO ($\pm 2,048$ V) dengan margin 0,653 V. Perhitungan teoritis pada beberapa kondisi tegangan masukan ditunjukkan pada Tabel 7. Jalur pengukuran dari simulator hingga ESP32 digambarkan secara rinci pada Gambar 3. Faktor skala TOTAL_SCALE dan NEGATIVE_SCALE sebesar 0,00476 digunakan untuk mengonversi hasil ADC menjadi nilai tegangan aktual.



Gambar 4. Jalur Pengukuran Tegangan dari Simulator DC hingga ESP32

Tabel 7. komunikasi antara ADS1115 dan ESP32

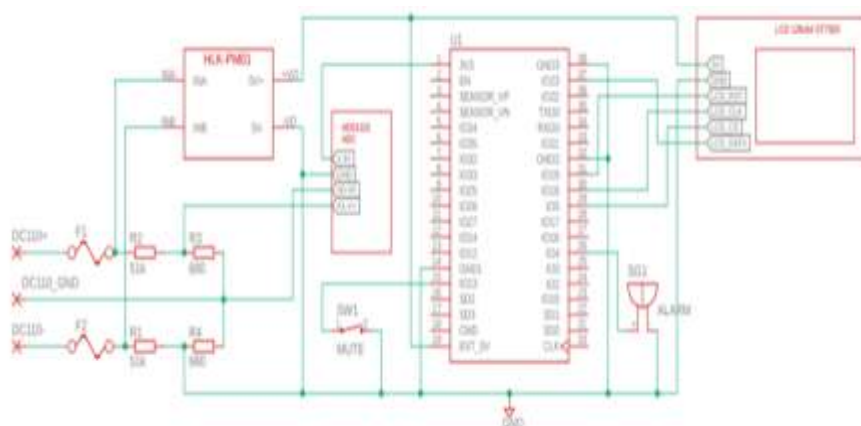
Kanal ADS1115	Parameter	Fungsi
A0	Vneg	Membaca tegangan negatif terhadap titik referensi pengukuran
A1	Vtotal	Membaca tegangan total sistem DC

Penggunaan rangkaian pembagi tegangan dengan rasio tersebut memungkinkan penyesuaian level tegangan tinggi agar sesuai dengan rentang masukan ADC, sekaligus mempertahankan hubungan proporsional antara tegangan masukan dan keluaran (Fuada et al., 2022).

Pemilihan ESP32 sebagai pengendali utama didasarkan pada kemampuan pemrosesan data dan konektivitas Wi-Fi yang terintegrasi, sehingga mendukung fungsi monitoring jarak jauh secara real-time (Espressif Systems, 2023).

Perangkat Lunak

Perangkat lunak dikembangkan secara modular menggunakan Arduino IDE untuk mengendalikan pembacaan data, pengolahan nilai tegangan, tampilan LCD, sistem alarm, serta komunikasi dengan platform monitoring. Struktur program dipisah berdasarkan fungsi agar pengembangan dan pemeliharaan lebih mudah. Modul utama meliputi config.h untuk konfigurasi pin dan parameter, globals.h untuk data bersama, pembacaan ADS1115, pengendalian LCD, sistem alarm, koneksi Wi-Fi, Blynk, ThingSpeak, Telegram, dan pengelolaan waktu. Struktur modular perangkat lunak digambarkan pada Gambar 5, yang memperlihatkan hubungan hierarkis antara file konfigurasi, modul pengolahan data, serta distribusi hasil ke tampilan lokal, sistem alarm, dan layanan cloud.



Gambar 5. Rangkaian Perangkat Keras Sistem Monitoring DC

Konfigurasi sistem menetapkan alamat ADS1115 0x48, gain GAIN_TWO, kanal A0 untuk Vneg, kanal A1 untuk Vtotal, serta faktor skala 0,00476. Inisialisasi perangkat keras mencakup objek ADS1115, LCD ST7920 dengan software SPI, serta pengaturan pin buzzer dan push button. Data hasil pembacaan disimpan dalam struktur Voltage Data yang berisi total, positive, negative, rawTotal, dan rawNegative sehingga dapat digunakan bersama oleh beberapa fungsi. Sistem alarm mendeteksi kondisi tegangan di bawah batas LOW_VOLTAGE_LIMIT 90 V, MIN_POSITIVE_LIMIT 30 V, dan MIN_NEGATIVE_LIMIT 30 V, kemudian mengaktifkan buzzer dengan opsi mute melalui push button.

Monitoring Blynk menggunakan Virtual Pin V0 untuk Vtotal, V1 untuk Vpos, dan V2 untuk Vneg dengan interval pembaruan 1 detik (Blynk Inc., 2024). Penyimpanan ThingSpeak menempatkan data pada Field 1–3 dengan interval 15 detik (MathWorks, 2023). Telegram menyediakan fungsi notifikasi kondisi, laporan otomatis, perintah /cek, dan /csv (Telegram Messenger LLP, 2024).

Alur kerja perangkat lunak dimulai dari inisialisasi ESP32 dan perangkat keras, dilanjutkan dengan pembacaan data dari ADS1115, pengolahan menjadi parameter Vtotal, Vpos, dan Vneg, kemudian distribusi hasil secara bersamaan ke LCD, sistem alarm, serta layanan cloud (Blynk, ThingSpeak, dan Telegram). Proses tersebut

berjalan secara berulang selama sistem aktif. Diagram alir lengkap perangkat lunak ditampilkan pada Gambar 6. Struktur modular ini memungkinkan setiap fungsi diuji secara terpisah sebelum integrasi penuh.



Gambar 6. Integrasi Antarmuka Perangkat Keras

Pengujian

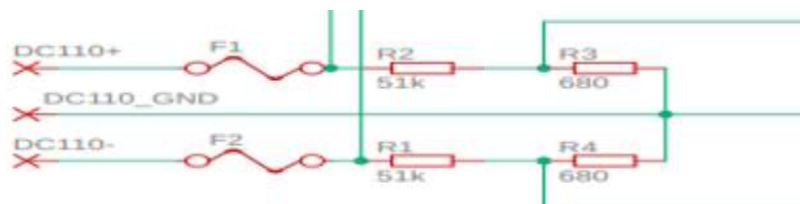
Pengujian dilakukan menggunakan simulator DC dengan tegangan maksimum 106 V dan multimeter Fluke sebagai alat ukur referensi. Masing-masing parameter V_{total} , V_{pos} , dan V_{neg} diuji pada 100 titik data aktual. Analisis mencakup perhitungan error, regresi linear, dan koefisien determinasi R^2 untuk menilai tingkat kesesuaian hasil pembacaan sistem terhadap nilai referensi.

Pada pengujian V_{total} , error berada pada rentang 0,09% hingga 0,38% dengan slope regresi sebesar 1,0055 dan koefisien determinasi R^2 sebesar 0,9991. Nilai error maksimum masih jauh di bawah batas toleransi 5%, sedangkan slope yang mendekati 1 serta R^2 yang sangat tinggi menunjukkan bahwa perubahan tegangan total dapat diikuti oleh sistem dengan tingkat ketelitian yang baik. Rekapitulasi lengkap hasil pengujian V_{total} .

Tabel 8. Perhitungan Tegangan Pembagi pada Beberapa Kondisi Tegangan

Tegangan Masukan Simulator (V)	Rasio Pembagi	Tegangan Teoritis ke ADS1115 (V)
50	0,01316	0,658
60	0,01316	0,790
70	0,01316	0,921
80	0,01316	1,053
90	0,01316	1,184
100	0,01316	1,316
106	0,01316	1,395

Kurva perbandingan hasil pengukuran V_{total} antara sistem monitoring dan multimeter Fluke memperlihatkan pola yang hampir berhimpit sepanjang 100 titik pengujian. Perubahan nilai tegangan dari kisaran 106 V hingga sekitar 80 V dapat diikuti secara konsisten oleh sistem, dengan selisih pembacaan yang relatif kecil pada setiap titik pengukuran.



Gambar 7. Rangkaian Pembagi Tegangan

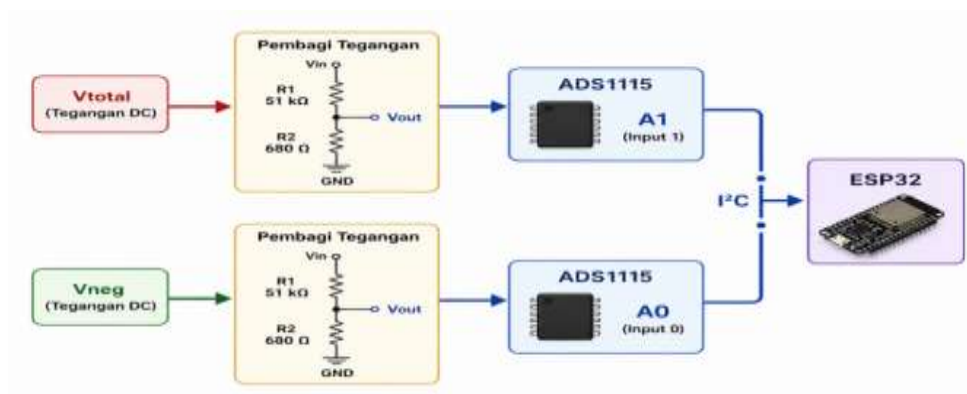
Pengujian V_{pos} menghasilkan error pada rentang 0,11% hingga 0,49%, slope regresi 0,9970, dan R^2 0,9992. Error maksimum tetap berada jauh di bawah batas toleransi, sementara nilai slope dan R^2 yang mendekati ideal

mengindikasikan hubungan linear yang sangat kuat antara hasil pembacaan sistem dan alat ukur referensi. Rekapitulasi hasil pengujian Vpos ditampilkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Konfigurasi Pin LCD ST7920 terhadap ESP32

Pin ESP32	Fungsi	Pin/Fungsi LCD
GPIO 18	Clock	CLK
GPIO 23	Data	MOSI
GPIO 5	Chip Select	CS
GPIO 19	Reset	RESET

Perbandingan hasil pengukuran Vpos antara sistem dan Fluke digambarkan pada Gambar 8. Kurva kedua metode pengukuran menunjukkan kecenderungan perubahan yang serupa pada seluruh rentang pengujian, sehingga sistem terbukti mampu mengikuti fluktuasi tegangan positif terhadap Ground dengan baik.



Gambar 8. Hubungan Rangkaian Pengukuran dengan ESP32

Pengujian Vneg menghasilkan error pada rentang 0,01% hingga 0,69%, slope regresi 0,9994, dan R^2 0,9999. Meskipun error maksimum sedikit lebih tinggi dibandingkan parameter lainnya, nilai tersebut masih sangat rendah dan jauh di bawah batas toleransi 5%. Nilai R^2 yang mendekati 1 menempatkan Vneg sebagai parameter dengan hubungan linear terkuat. Rekapitulasi hasil pengujian Vneg disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Konfigurasi Pin ESP32 pada Sistem

No.	GPIO ESP32	Perangkat	Fungsi
1	GPIO 18	LCD ST7920	CLK
2	GPIO 23	LCD ST7920	MOSI/Data
3	GPIO 5	LCD ST7920	CS
4	GPIO 19	LCD ST7920	RESET
5	GPIO 4	Buzzer	Indikator alarm
6	GPIO 13	Push Button	Mute alarm
7	Jalur I2C	ADS1115	Komunikasi ADC

Kurva perbandingan hasil pengukuran Vneg antara sistem dan Fluke ditunjukkan pada Gambar 9. Pola perubahan kedua kurva hampir berhimpit, mengonfirmasi bahwa sistem tidak hanya mampu mengukur tegangan total, tetapi juga mampu memperoleh informasi tegangan sisi negatif terhadap Ground secara akurat.



Gambar 9. Integrasi Keseluruhan Perangkat Keras

Seluruh nilai error berada jauh di bawah batas toleransi 5%. Hal ini menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi serta hubungan linear yang sangat kuat antara hasil pembacaan sistem dengan alat ukur referensi pada ketiga parameter utama. Pengujian keseimbangan sistem DC floating menggunakan parameter $\Delta V = |V_{pos} - |V_{neg}|$ dengan batas normal $\Delta V < 40$ V. Dari 50 titik pengujian yang terdiri atas 35 kondisi normal dan 15 kondisi anomali, sistem berhasil membedakan kedua kondisi tersebut secara tepat. Pada kondisi normal buzzer tidak aktif dan notifikasi tidak terkirim, sedangkan pada kondisi anomali buzzer aktif dan Telegram mengirimkan pemberitahuan. Rekapitulasi hasil pengujian kondisi normal dan anomali ditampilkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Virtual Pin Blynk

Virtual Pin	Data
V0	Vtotal
V1	Vpos
V2	Vneg

Pengujian tampilan LCD menunjukkan bahwa nilai Vtotal, Vpos, dan Vneg berhasil ditampilkan secara jelas dan mengikuti perubahan tegangan masukan secara dinamis. Ketika nilai tegangan simulator diubah, nilai yang muncul pada LCD ikut berubah tanpa adanya keterlambatan yang berarti. Hasil pengujian tampilan LCD dirangkum pada Tabel 12.

Tabel 12. Rekapitulasi Hasil Pengujian Vtotal

Parameter	Hasil
Jumlah data pengujian	100 data
Error minimum	0,09%
Error maksimum	0,38%
Batas toleransi error	5%
Slope regresi	1,0055
Koefisien determinasi (R^2)	0,9991

Sumber: Data hasil pengujian peneliti

Contoh tampilan nilai parameter pada LCD ST7920 128×64 ditampilkan pada Gambar 10. Tampilan tersebut memuat informasi Vtotal, Vpos, dan Vneg secara bersamaan, sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem secara lokal tanpa harus membuka aplikasi monitoring jarak jauh.



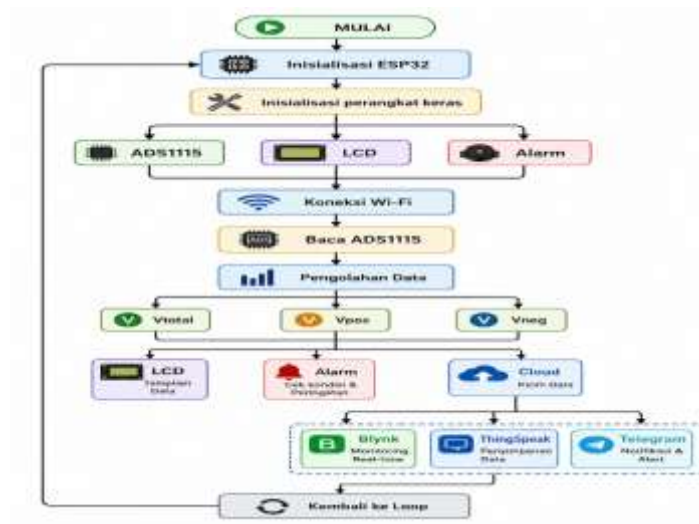
Gambar 10. Struktur Perangkat Lunak Sistem Monitoring DC

Monitoring Blynk berhasil mengirimkan ketiga parameter melalui Virtual Pin V0 untuk Vtotal, V1 untuk Vpos, dan V2 untuk Vneg dengan pembaruan setiap 1 detik. Koneksi Wi-Fi tetap stabil selama pengujian dan data yang ditampilkan pada aplikasi sesuai dengan nilai yang diproses oleh ESP32. Hasil pengujian monitoring Blynk disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13. Rekapitulasi Hasil Pengujian Vpos

Parameter	Hasil
Jumlah data pengujian	100 data
Error minimum	0,11%
Error maksimum	0,49%
Batas toleransi error	5%
Slope regresi	0,9970
Koefisien determinasi (R^2)	0,9992

Tampilan antarmuka monitoring pada aplikasi Blynk ditunjukkan pada Gambar 11. Antarmuka tersebut menampilkan nilai real-time ketiga parameter tegangan beserta status sistem, sehingga memungkinkan pemantauan jarak jauh yang informatif dan mudah dibaca.



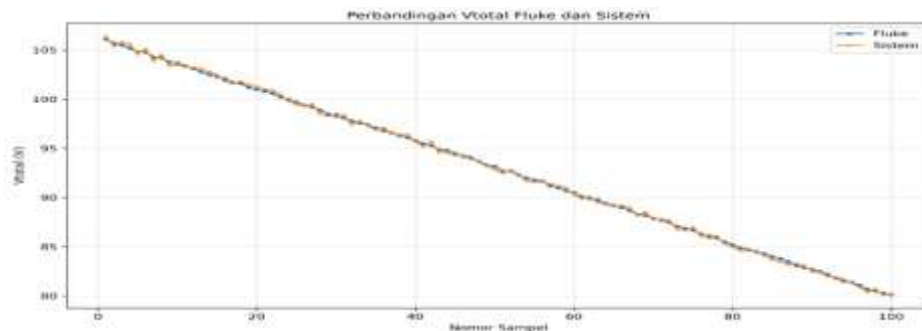
Gambar 11. Diagram Alir Perangkat Lunak Sistem Monitoring DC

Penyimpanan data pada ThingSpeak berhasil menempatkan Vtotal pada Field 1, Vpos pada Field 2, dan Vneg pada Field 3 dengan interval pengiriman 15 detik. Data tersimpan secara kronologis dan dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik historis. Hasil pengujian penyimpanan ThingSpeak dirangkum pada Tabel 14.

Tabel 14. Rekapitulasi Hasil Pengujian Vneg

Parameter	Hasil
Jumlah data pengujian	100 data
Error minimum	0,01%
Error maksimum	0,69%
Batas toleransi error	5%
Slope regresi	0,9994
Koefisien determinasi (R^2)	0,9999

Visualisasi data historis pada platform ThingSpeak ditampilkan pada Gambar 12. Grafik yang dihasilkan memungkinkan pengamatan tren perubahan Vtotal, Vpos, dan Vneg dari waktu ke waktu, sehingga data tidak hanya berfungsi sebagai monitoring real-time tetapi juga sebagai dokumentasi kondisi sistem.



Gambar 12. Perbandingan Hasil Pengukuran Vtotal Fluke dan Sistem

Notifikasi Telegram, buzzer, dan push button berfungsi sesuai dengan rancangan sistem. Buzzer aktif pada kondisi anomali, dapat di-mute melalui push button, dan kembali normal ketika kondisi tegangan pulih. Telegram berhasil mengirimkan notifikasi otomatis maupun respons terhadap perintah manual. Hasil keseluruhan menunjukkan bahwa sistem mampu mengukur Vtotal, Vpos, dan Vneg dengan akurasi tinggi, mendeteksi ketidakseimbangan floating, serta menjalankan fungsi monitoring dan peringatan secara terintegrasi. Temuan ini mendukung penerapan sistem monitoring berbasis IoT pada sistem catu daya DC gardu induk.

Hasil penelitian sejalan dengan studi sebelumnya mengenai perancangan sistem monitoring tegangan baterai 110 VDC berbasis Blynk pada gardu induk (Triyanto & Syaepudin, 2023). Hasil pengujian juga sesuai dengan praktik yang direkomendasikan dalam standar sistem catu daya DC untuk stasiun pembangkit (IEEE Power & Energy Society, 2020). Implikasi praktisnya adalah tersedianya sistem pemantauan real-time yang dapat meningkatkan keandalan operasional gardu induk melalui deteksi dini anomali tegangan.

4. Kesimpulan

Sistem monitoring tegangan DC berbasis IoT berhasil dirancang menggunakan ESP32 dan ADS1115 untuk memantau tegangan total (Vtotal), tegangan positif (Vpos), dan tegangan negatif (Vneg). Hasil pengujian 100 data menunjukkan akurasi tinggi dibandingkan multimeter Fluke, dengan error Vtotal 0,09–0,38%, Vpos 0,11–0,49%, dan Vneg 0,01–0,69%, seluruhnya di bawah toleransi 5%. Nilai regresi dengan slope mendekati 1 dan $R^2 > 0,999$ juga menunjukkan kesesuaian yang sangat kuat. Sistem berhasil mendeteksi kondisi normal dan anomali pada 50 skenario pengujian, serta mendukung monitoring melalui Blynk, penyimpanan data melalui ThingSpeak, dan notifikasi melalui Telegram. Alarm buzzer juga berfungsi dengan baik dan dapat dinonaktifkan melalui tombol mute tanpa menghentikan monitoring. Secara keseluruhan, sistem telah memenuhi fungsi utama dan layak digunakan sebagai prototipe monitoring tegangan DC berbasis IoT, meskipun pengujian masih terbatas pada lingkungan laboratorium dan simulator. Pengembangan selanjutnya disarankan meningkatkan kemampuan sistem

untuk menangani tegangan 110 V dengan proteksi dan isolasi yang lebih baik, serta menyempurnakan algoritma deteksi gangguan dan analisis tren. Sistem juga dapat dilengkapi koneksi dan komunikasi cadangan yang lebih andal. Pengujian langsung di gardu induk diperlukan untuk memastikan kinerja sistem pada kondisi operasional sebenarnya.

Reference

1. Dwiyaniti, M. (2022). Sistem pemantauan performa baterai berbasis IoT. *Jurnal Teknik Elektro*, 14(2), 45–52.
2. Fauzan, A. (2024). Sistem manajemen baterai berbasis ESP8266 dan Blynk. *Jurnal Teknologi Informasi*, 9(1), 112–120.
3. Haryudo, S. (2023). Sistem PLTS on-grid berbasis IoT dan Telegram. *Jurnal Energi Terbarukan*, 7(3), 78–85.
4. Blynk Inc. (2024). *Blynk IoT platform documentation*. <https://docs.blynk.io>
5. Espressif Systems. (2023). *ESP32 datasheet*. <https://www.espressif.com>
6. Fuada, S., Munadi, R., Yusro, M., & Nugroho, S. A. (2022). Analisis rangkaian pembagi tegangan dan perbandingan hasil simulasinya menggunakan simulator offline. *Circuit: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 6(1). <https://doi.org/10.22373/crc.v6i1.11200>
7. IEEE Power & Energy Society. (2020). *IEEE recommended practice for DC power systems for generating stations* (IEEE Std 946-2020). <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2020.9086052>
8. MathWorks. (2023). *ThingSpeak documentation*. <https://thingspeak.mathworks.com>
9. Telegram Messenger LLP. (2024). *Telegram Bot API documentation*. <https://core.telegram.org/bots/api>
10. Triyanto, A., & Syaepudin, W. (2023). Perancangan sistem monitoring tegangan baterai 110 VDC berbasis Blynk pada gardu induk. *Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 4(1), 353–363. <https://doi.org/10.24036/jtein.v4i1.358>
11. Prasetya, R. (2025). Perangkat pemantauan tegangan baterai gardu induk berbasis embedded IoT. *Jurnal Sistem Tenaga Listrik*, 12(1), 23–31.
12. Santoso, B. (2024). Monitoring kelistrikan menggunakan ESP32 dan platform cloud. *Jurnal Informatika dan Elektro*, 11(4), 56–64.
13. Srun, T. (2024). Sistem monitoring penggunaan energi listrik berbasis ESP32 dan IoT. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 8(2), 90–98.
14. Triyanto, A., & Syaepudin, D. (2023). Sistem pemantauan tegangan baterai 110 VDC gardu induk berbasis Blynk dan IoT. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, 10(3), 145–153.
15. umainah, R. F., Suhendar, & Rizky, Y. (2023). Analisis penyebab terjadi error dalam tegangan baterai 110 V pada Gardu Induk Sepatan. *Teknika*, 8(2), 66–73.
16. Tong, L., Zhou, J., & Li, J. (2022). IoT-based low-voltage power distribution system management and control platform. *Frontiers in Energy Research*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.902715>