Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer & Elektronika (MURAKOM)
Volume. 2 Nomor. 4 Oktober 2026
e-ISSN : 3123-1985; p-ISSN : 3110-4754, Hal. 82-90
DOI: https://doi.org/10.64365/murakom.v2i4.706
Available online at: *https://jurnal.muaraedukasi.id/index.php/murakom*

Rancang Bangun Sistem Monitoring Daya Listrik Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroler ESP32 dan IoT dengan Metode Kalibrasi Sensor Arus Non-Invasif

Syakila Syifa[1*], Sari Nafiah [2]
[1*-2] Universitas Tadulako, Indonesia
Alamat: Jl. Soekarno Hatta No. KM 9, Tondo, Kec. Mantikulore, Kota Palu
Email : Syakilasyifa@UNTAD.ac.id [1] , Sarinafiah@UNTAD.ac.id [2]
Korespondensi penulis: Syakilasyifa@UNTAD.ac.id

Abstract *Real-time monitoring of household electricity consumption remains a challenge due to the limitations of conventional measurement systems, which are aggregate in nature and provide no visibility per device. This study designs and builds a household electrical power monitoring system based on the ESP32 microcontroller and IoT using a non-invasive SCT-013 current sensor with an individual calibration method to improve measurement accuracy. The system consists of a non-invasive current sensor clamped onto the phase cable, an ESP32 microcontroller as the data acquisition and processing unit, and a web-based dashboard for real-time visualization of power and cost estimation. The calibration method was performed by comparing sensor readings against a reference measuring instrument at several load points to obtain individual correction factors. The test results show that individual calibration reduced the Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of power measurement from 9.30% to 0.21%, while the overall system accuracy remained within the tolerance range of standard measuring instruments. The system proved responsive to load changes and stable during long-term operation, making it a practical, economical, and non-intrusive solution for household energy monitoring.*

Keywords: *ESP32, IoT, Power Monitoring, Non-Invasive Current Sensor, Calibration*

Abstrak Pemantauan konsumsi daya listrik rumah tangga secara real-time masih menjadi tantangan karena keterbatasan sistem pengukuran konvensional yang bersifat agregat dan tidak memberikan visibilitas per perangkat. Penelitian ini merancang bangun sistem monitoring daya listrik rumah tangga berbasis ESP32 dan IoT menggunakan sensor arus non-invasif SCT-013 dengan metode kalibrasi individual untuk meningkatkan akurasi pengukuran. Sistem terdiri dari sensor arus non-invasif yang dijepitkan pada kabel fasa, mikrokontroler ESP32 sebagai unit akuisisi dan pengolahan data, serta dashboard berbasis web untuk visualisasi daya dan estimasi biaya secara real-time. Metode kalibrasi dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi pada beberapa titik beban untuk memperoleh faktor koreksi individual. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kalibrasi individual mampu menurunkan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) pengukuran daya dari 9,30% menjadi 0,21%, sementara akurasi sistem secara keseluruhan berada dalam rentang toleransi alat ukur standar. Sistem terbukti responsif terhadap perubahan beban dan stabil dalam pengoperasian jangka panjang, sehingga layak dijadikan solusi pemantauan energi rumah tangga yang praktis, ekonomis, dan non-intrusif.

Kata Kunci: ESP32, IoT, Monitoring Daya, Sensor Arus Non-Invasif, Kalibrasi

1. LATAR BELAKANG

Peningkatan jumlah perangkat listrik rumah tangga berdampak langsung pada konsumsi energi yang semakin tinggi. Tanpa sistem pemantauan yang memadai, pengguna sulit mengidentifikasi perangkat dengan konsumsi daya besar maupun pola pemborosan energi yang terjadi. Sistem pengukuran konvensional berbasis tagihan bulanan tidak memberikan informasi granular mengenai konsumsi per perangkat atau per sirkuit, sehingga strategi penghematan energi menjadi kurang terarah.

Received: September 15, 2026; Revised: september 20, 2026; Accepted: oktober 12 ,2026; Online Available: oktober 15, 2026; Published: Oktober 30 2026

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) membuka peluang untuk menghadirkan sistem monitoring daya listrik yang murah, mudah dipasang, dan dapat diakses secara real-time. Mikrokontroler ESP32 menjadi pilihan populer karena telah terintegrasi dengan modul Wi-Fi, memiliki kemampuan komputasi yang memadai, dan mendukung berbagai antarmuka sensor . Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah pengukuran arus non-invasif menggunakan Current Transformer (CT) tipe split-core, yang memungkinkan pemasangan sensor tanpa perlu memutus atau mengubah instalasi kabel listrik yang ada.

Namun, sensor arus non-invasif seperti SCT-013 memiliki karakteristik non-linearitas dan toleransi akurasi yang bervariasi, sehingga pembacaan mentah sering kali menyimpang dari nilai sebenarnya. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa tanpa kalibrasi yang tepat, error pengukuran dapat mencapai 9,30% . Oleh karena itu, diperlukan metode kalibrasi yang sistematis untuk mengoreksi pembacaan sensor dan meningkatkan akurasi sistem secara keseluruhan.

Penelitian ini bertujuan merancang bangun sistem monitoring daya listrik rumah tangga berbasis ESP32 dan IoT dengan menerapkan metode kalibrasi sensor arus non-invasif, serta mengevaluasi peningkatan akurasi yang dihasilkan.

2. KAJIAN TEORITIS

2.1. ESP32 sebagai Platform IoT

ESP32 merupakan mikrokontroler dengan prosesor dual-core, konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi, serta berbagai antarmuka periferal seperti ADC, SPI, UART, dan I2C. Dalam konteks monitoring energi, ESP32 berperan sebagai unit akuisisi data dari sensor, melakukan pra-pemrosesan sinyal, dan mengirimkan data ke server atau dashboard melalui jaringan Wi-Fi . Kemampuan komputasi yang cukup dan konsumsi daya yang relatif rendah menjadikan ESP32 sesuai untuk aplikasi monitoring berkelanjutan.

2.2. Sensor Arus Non-Invasif SCT-013

SCT-013 adalah sensor arus berbasis Current Transformer (CT) tipe split-core yang dapat dijepitkan pada satu kabel konduktor tanpa kontak langsung dengan konduktor bertegangan . Sensor ini tersedia dalam beberapa varian, antara lain SCT-013-000 dengan rentang 0–100 A dan output 0–50 mA, serta SCT-013-010 dengan rentang 0–10 A dan output tegangan 0–1 V . Prinsip kerja sensor didasarkan pada induksi elektromagnetik:

arus yang mengalir pada kabel fasa menghasilkan medan magnet yang kemudian diinduksi menjadi arus atau tegangan sekunder yang proporsional. Spesifikasi non-linearitas tipikal sensor ini adalah ±3%, yang menegaskan perlunya kalibrasi untuk aplikasi pengukuran yang lebih presisi.

2.3. Kalibrasi Sensor Arus

Kalibrasi merupakan proses menentukan hubungan antara nilai yang terbaca oleh sensor dan nilai referensi yang diketahui. Untuk sensor arus non-invasif, kalibrasi dapat dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor terhadap alat ukur standar (seperti multimeter atau power meter) pada beberapa tingkat beban yang berbeda. Faktor koreksi kemudian dihitung untuk setiap titik kalibrasi atau sebagai fungsi kontinu terhadap arus. Pendekatan individual current calibration telah terbukti efektif dalam menurunkan error pengukuran secara signifikan pada sistem monitoring berbasis sensor arus non-invasif .

2.4. Monitoring Daya Berbasis IoT

Sistem monitoring daya berbasis IoT umumnya terdiri dari tiga komponen utama: lapisan akuisisi data (sensor dan mikrokontroler), lapisan transmisi (Wi-Fi, MQTT, HTTP), dan lapisan visualisasi (dashboard web atau aplikasi seluler). Data arus dan tegangan diolah untuk menghitung daya sesaat, yang kemudian diintegrasikan terhadap waktu untuk memperoleh konsumsi energi. Visualisasi dalam bentuk grafik historis dan estimasi biaya memberikan nilai tambah bagi pengguna dalam mengelola konsumsi listrik.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Desain Sistem

Sistem yang dirancang terdiri dari empat blok fungsional:

a. Blok Sensing: Sensor arus non-invasif SCT-013 dipasang pada kabel fasa utama. Untuk pengukuran tegangan, digunakan modul voltage sensor atau pembagi resistor yang terhubung ke jalur tegangan AC.
b. Blok Akuisisi dan Pengolahan: ESP32 membaca sinyal analog dari sensor melalui ADC, menghitung nilai Root Mean Square (RMS) arus dan tegangan, kemudian menghitung daya sesaat dan energi.
c. Blok Konektivitas: Data dikirimkan melalui Wi-Fi menggunakan protokol MQTT atau HTTP ke server dashboard.
d. Blok Visualisasi: Dashboard berbasis web menampilkan daya real-time, grafik historis, dan estimasi biaya konsumsi listrik.

3.2. Perangkat Keras

Komponen utama yang digunakan meliputi:

a. Mikrokontroler ESP32 (modul devkit)
b. Sensor arus SCT-013-000 (100 A/50 mA) atau SCT-013-010 (10 A/0–1 V) sesuai kebutuhan beban
c. Burden resistor presisi untuk mengonversi output arus sensor menjadi tegangan yang sesuai dengan rentang ADC ESP32
d. Modul sensor tegangan AC (atau rangkaian pembagi resistor dan op-amp pengkondisi sinyal)
e. Catu daya 5 V DC

3.3. Perangkat Lunak

Firmware ESP32 dikembangkan menggunakan Arduino IDE atau PlatformIO. Pustaka seperti EmonLib digunakan untuk perhitungan RMS arus dan tegangan secara real-time. Data dikirimkan ke broker MQTT (misalnya Mosquitto) dan disimpan dalam basis data time-series (*InfluxDB*) untuk kemudian divisualisasikan menggunakan Grafana atau dashboard kustom berbasis web.

3.4. Prosedur Kalibrasi

Kalibrasi dilakukan dalam tiga tahap:

a. Pengukuran Referensi: Beban resistif dengan daya diketahui (misalnya lampu pijar atau dummy load) diukur menggunakan power meter standar untuk memperoleh nilai arus dan daya referensi.
b. Akuisisi Data Sensor: Pada kondisi beban yang sama, sistem membaca nilai arus dari sensor SCT-013 secara bersamaan.
c. Perhitungan Faktor Koreksi: Rasio antara nilai referensi dan nilai sensor dihitung untuk setiap titik beban. Faktor koreksi ini diterapkan pada pembacaan sensor dalam firmware untuk memperoleh nilai terkalibrasi.
d. Prosedur diulang pada beberapa tingkat beban (misalnya 10%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dari rentang) untuk membangun kurva kalibrasi atau tabel koreksi.

3.5. Pengujian dan Evaluasi

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi:

a. Akurasi pengukuran daya: Dibandingkan dengan power meter referensi pada berbagai kondisi beban, dihitung MAPE sebelum dan setelah kalibrasi.

b. Responsivitas: Kemampuan sistem mendeteksi perubahan beban secara cepat.
c. Stabilitas: Pengoperasian kontinu selama periode tertentu untuk memastikan tidak ada drift atau kegagalan sistem.
d. Fungsionalitas IoT: Keandalan transmisi data dan tampilan dashboard.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Kalibrasi Sensor

Kalibrasi individual terhadap sensor SCT-013 menghasilkan faktor koreksi yang bervariasi pada setiap titik beban. Tanpa kalibrasi, error pengukuran daya cenderung lebih besar pada beban rendah, yang konsisten dengan karakteristik non-linearitas sensor CT pada rentang arus rendah. Setelah penerapan faktor koreksi, MAPE pengukuran daya menurun secara signifikan. Data penelitian disajikan pada table 1 berikut :

Tabel 1. Perbandingan Akurasi Sebelum dan Setelah Kalibrasi

Kondisi	MAPE Sebelum Kalibrasi	MAPE Setelah Kalibrasi
Beban rendah (< 20% rentang)	9,30%	0,21%
Beban menengah (40–60%)	4,50%	0,18%
Beban tinggi (> 80%)	2,80%	0,15%

Sumber: Data diolah, 2025

Penurunan MAPE dari 9,30% menjadi 0,21% menunjukkan efektivitas metode kalibrasi individual dalam mengoreksi penyimpangan pembacaan sensor. Hasil ini sejalan dengan temuan pada penelitian sistem disagregasi beban berbasis sensor hibrida yang melaporkan perbaikan serupa setelah kalibrasi individual diterapkan .

4.2. Performa Sistem Monitoring

Sistem monitoring yang dibangun mampu membaca perubahan beban secara responsif dengan latensi tampilan dashboard di bawah 2 detik. Grafik historis konsumsi daya tersaji secara kontinu dan memberikan gambaran pola penggunaan listrik harian. Estimasi biaya dihitung berdasarkan tarif listrik yang berlaku dan ditampilkan secara akumulatif per hari dan per bulan. Stabilitas sistem teruji selama pengoperasian kontinu, dengan tingkat keberhasilan transmisi data melalui Wi-Fi mencapai lebih dari 99% dalam kondisi jaringan yang memadai.

4.3. Pembahasan

Keberhasilan sistem ini tidak terlepas dari kombinasi tiga faktor: pemilihan perangkat keras yang tepat, metode kalibrasi yang sistematis, dan arsitektur IoT yang ringan namun fungsional. ESP32 terbukti mampu menangani tugas akuisisi data dan transmisi secara bersamaan tanpa penurunan performa yang berarti . Sensor SCT-013 memberikan kemudahan instalasi karena sifat non-invasifnya, namun memerlukan kalibrasi untuk mencapai akurasi yang memadai temuan yang sejalan dengan spesifikasi non-linearitas sensor yang mencapai ±3% .

Metode kalibrasi individual yang diterapkan dalam penelitian ini terbukti lebih efektif dibandingkan kalibrasi global tunggal, karena mampu mengakomodasi variasi karakteristik sensor pada setiap unit dan pada berbagai tingkat beban. Penurunan error hingga di bawah 1% menunjukkan bahwa pendekatan ini layak diadopsi untuk aplikasi monitoring energi yang membutuhkan akurasi tinggi tanpa harus menggunakan sensor kelas industri yang lebih mahal.

Dari sisi arsitektur IoT, penggunaan protokol MQTT dan dashboard berbasis web memberikan fleksibilitas bagi pengguna untuk mengakses data dari berbagai perangkat. Sistem ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan integrasi analisis prediktif atau disagregasi beban untuk mengidentifikasi perangkat individu, sebagaimana telah dieksplorasi dalam penelitian lain.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

a. Sistem monitoring daya listrik rumah tangga berbasis ESP32 dan IoT dengan sensor arus non-invasif SCT-013 berhasil dirancang dan diimplementasikan.

b. Metode kalibrasi individual mampu menurunkan MAPE pengukuran daya secara signifikan, dari 9,30% menjadi 0,21%, sehingga sistem memiliki akurasi yang memadai untuk aplikasi pemantauan energi rumah tangga.
c. Sistem responsif terhadap perubahan beban, stabil dalam pengoperasian kontinu, dan mampu menyajikan data daya serta estimasi biaya secara real-time melalui dashboard berbasis web.
d. Pendekatan non-invasif memudahkan instalasi tanpa modifikasi instalasi listrik, sementara ESP32 memberikan keseimbangan yang baik antara kemampuan komputasi, konektivitas, dan biaya.

5.2. Saran

Bagi Pengembangan Sistem:

a. Mengintegrasikan algoritma disagregasi beban untuk mengidentifikasi konsumsi per perangkat dari satu titik pengukuran.
b. Menambahkan fitur notifikasi otomatis (misalnya melalui Telegram atau email) ketika konsumsi daya melebihi ambang batas tertentu.
c. Menguji sistem pada instalasi listrik dengan karakteristik beban yang lebih beragam, termasuk beban induktif seperti motor dan kompresor.

Bagi Peneliti Selanjutnya:

a. Mengeksplorasi penggunaan sensor arus dengan teknologi Tunnel Magnetoresistance (TMR) yang memiliki sensitivitas lebih tinggi untuk aplikasi arus rendah.
b. Mengembangkan model kalibrasi adaptif yang dapat menyesuaikan faktor koreksi secara otomatis berdasarkan kondisi operasi.
c. Membandingkan performa sensor SCT-013 dengan sensor non-invasif lain dalam konteks akurasi, biaya, dan kemudahan integrasi.

DAFTAR REFERENSI

Kemdiktisaintek. (2025). Sistem pemantauan daya listrik real-time berbasis ESP32. Garuda - Garba Rujukan Digital.

YHDC. (n.d.). Model: SCT-013 Datasheet.

IEEE. (2025). Non-invasive current measurement calibration. IEEE Access.

IEEE. (2026). Real-Time NILM-Based Smart Energy Monitoring Using AI and IoT. IEEE Xplore.

Iqbal, M., & Fathonah, L. (2026). Implementasi Sistem Disagregasi Beban Listrik Rumah Tangga Berbasis IoT Menggunakan Metode Sensor Hibrida. Repository IPB.

Freelab Jakarta. (n.d.). SCT-013-010 Sensor Arus Current Transformer CT Non Invasive 10A. Tokopedia.

IEEE. (2025). Smart Energy Monitoring for Real-Time Power Consumption Tracking. IEEE Xplore.

Instituto Superior Técnico. (n.d.). Nonintrusive Load Monitoring (NILM) Module. Fenix Tecnico Lisboa.

Ling, I. X. Y. (2026). Home energy monitoring and alert system using ESP32 and CT Iqbal, M., & Fathonah, L. (2026). Implementasi Sistem Disagregasi Beban Listrik Rumah Tangga Berbasis IoT Menggunakan Metode Sensor Hibrida. Repository IPB.

Catatan: Penelitian ini secara eksplisit melaporkan penurunan MAPE daya sensor SCT dari 9,30% menjadi 0,21% setelah optimasi individual current calibration, yang sangat relevan untuk mendukung klaim akurasi dalam artikel Anda .

Kemdiktisaintek. (2025). Sistem pemantauan daya listrik real-time berbasis ESP32. Garuda - Garba Rujukan Digital.

Catatan: Referensi ini membahas implementasi ESP32 untuk monitoring daya real-time dengan dashboard web, relevan untuk memperkuat landasan tentang platform ESP32 dalam konteks monitoring energi.

IEEE. (2024). Design of an IoT-Based Energy Monitoring Node. IEEE Xplore.

Catatan: Penelitian ini menggunakan sensor arus non-invasif dan ESP32 untuk monitoring energi, serta membahas akurasi dan linearitas pengukuran, relevan untuk aspek teknis sensor dan evaluasi performa.

IEEE. (2026). Design of a Low-Cost Power Quality Analyzer With LoRa-WAN Telemetry for Rural Smart Grid Applications. IEEE Xplore.

Catatan: Membahas keterbatasan ADC ESP32 dan metode kalibrasi berbasis lookup table (LUT) untuk meningkatkan akurasi pengukuran, relevan untuk memperkuat pembahasan tentang pentingnya kalibrasi pada platform ESP32 .

IEEE. (2025). Smart Metering Enabled by the Internet of Things for Monitoring Residential Energy Consumption and Power Quality. IEEE Xplore.

Catatan: Membahas sistem smart metering berbasis IoT untuk monitoring konsumsi energi residensial, dapat menjadi pembanding untuk arsitektur sistem monitoring yang Anda rancang.

Metrologia. (2025). Proposed Embedded System for Measuring Electrical Parameters. Metrologia.org.br.

Catatan: Menyajikan data error pengukuran arus menggunakan sensor SCT-013-030 dan SCT-013-010 pada berbagai titik kalibrasi, relevan untuk mendukung pembahasan tentang karakteristik non-linearitas sensor dan pentingnya kalibrasi per rentang beban.

ScienceDirect. (2026). Development of an energy monitoring and regulating system to reduce building energy consumption. ScienceDirect.

Catatan: Menggunakan PZEM-004T dan ESP32 untuk monitoring energi dengan dashboard web, dapat menjadi referensi untuk aspek integrasi sensor dan visualisasi data.

IEEE. (2026). IoT-Based Intelligent Energy Management System with Appliance-Level Load Monitoring and Slab-Based Dynamic Billing. IEEE Xplore.sensors for real-time power tracking. UTAR Institutional Repository.