

Sistem Monitoring Energi Listrik 3 Fase Berbasis IoT dan *Firestore*

M. Zaky Zaim Muhtadi^{*a)}, Susana Ranolat^{a)}, Pujiyanto^{a)}

(Received 21 April 2025 || Revised 30 Mei 2025 || Published 30 Juni 2025)

Abstract: *This research develops an Internet of Things (IoT)-based three-phase electrical energy monitoring system using Firestore for real-time energy management at PEM Akamigas Campus. The system integrates PM1200 Schneider power meter, ESP32 microcontroller, RS485 to TTL converter, and Firestore Realtime Database to monitor electrical parameters (voltage, current, power) simultaneously across three phases. Implementation testing was conducted for two hours with two-minute intervals, demonstrating system reliability with 100% data transmission success rate and latency under 2 seconds. Results show power fluctuations ranging from 9177W to 26285W, with peak consumption of 26285W occurring at 16:00-16:28, correlating with campus operational patterns. Compared to previous research, this system offers advantages in simultaneous three-phase monitoring, scalable cloud integration, and the excellent processing capabilities of ESP32. Although the system relies on a Wi-Fi connection and is not equipped with predictive features, opportunities for further development include the integration of machine learning, notification systems, integration of building management systems, and expansion to multiple locations for sustainable smart campus energy management.*

Keywords: *Energy Monitoring System, Internet of Things (IoT), Firestore, Three Phase, Real-time Database*

1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan komponen vital dalam infrastruktur modern, mendukung berbagai aspek kehidupan manusia dari sektor domestik hingga industri. Institusi pendidikan tinggi, seperti kampus, memiliki kebutuhan energi yang signifikan dan kompleks, mencakup fasilitas pembelajaran, penelitian, dan administrasi. Sistem kelistrikan tiga fase, yang umumnya diimplementasikan di lingkungan kampus dan industri besar, menawarkan kapasitas daya yang lebih tinggi dibandingkan sistem satu fase, mendukung operasional peralatan dengan kebutuhan daya besar [1].

Namun, efisiensi penggunaan energi pada sistem tiga fase sering kali tidak termonitor secara optimal, berpotensi menyebabkan inefisiensi dan pemborosan. Ketiadaan sistem monitoring real-time menghalangi identifikasi area-area pemborosan dan potensi penghematan energi. Kampus PEM Akamigas, sebagai contoh, menghadapi tantangan dalam optimalisasi pengelolaan dan pemantauan konsumsi energi di berbagai fasilitasnya. Oleh karena itu, diperlukan solusi komprehensif untuk monitoring dan manajemen konsumsi energi listrik yang lebih efektif dan efisien.

Seiring perkembangan teknologi, *Internet of Things* (IoT) menawarkan paradigma baru dalam pemantauan energi, memungkinkan integrasi perangkat dan pertukaran data tanpa intervensi manusia langsung. Implementasi teknologi IoT dalam monitoring energi listrik memfasilitasi pengumpulan data otomatis dan transmisi *real-time* ke platform *cloud* untuk analisis dan visualisasi. *Firestore*, dengan fitur *Realtime Database*-nya, menyediakan infrastruktur yang ideal untuk penyimpanan dan akses data energi, mendukung pengembangan aplikasi monitoring berbasis *web* dan *mobile* [2].

Dalam konteks ini, sistem arsitektur monitoring berbasis IoT ini menggabungkan penggunaan power meter dengan mikrokontroler seperti ESP32 untuk mendapatkan data parameter listrik seperti arus, tegangan, dan daya pada sistem tiga fase [3], [4], [5]. ESP32 cocok untuk aplikasi berbasis IoT [6] yang berfungsi sebagai gateway yang mengirimkan data ke *Firestore* melalui koneksi internet, memungkinkan analisis dan akses data secara remote. *Firestore* tidak hanya menawarkan penyimpanan data dalam waktu nyata tetapi juga mendukung pengembangan antarmuka monitoring yang interaktif dan skalabel [7].

Penelitian terdahulu dalam sistem monitoring energi berbasis IoT menunjukkan beragam pendekatan untuk lingkungan kampus dan industri. Monton et al. (2024) mengembangkan sistem

monitoring berbasis IoT untuk fasilitas universitas menggunakan sensor ACS712 dan ESP8266, namun sistem tersebut terbatas pada monitoring *single-phase* [8]. Penelitian lain yang dilakukan oleh Rhesri et al. mengimplementasikan platform monitoring *three-phase energy consumption* di kampus universitas dengan fokus pada *transmission data optimization*, tetapi tidak mengintegrasikan solusi penyimpanan *cloud* yang *scalable* [9]. Sementara itu, Himer et al. (2023) mengembangkan sistem monitoring konsumsi energi menggunakan ESP8266 dan sensor PZEM-004T untuk aplikasi residensial, namun belum mengakomodasi kompleksitas sistem 3-fasa pada lingkungan institusi [10]. Celah yang teridentifikasi dari penelitian yang ada adalah kurangnya integrasi yang optimal antara monitoring sistem 3-fasa dengan *cloud-based real-time database* untuk lingkungan kampus yang memerlukan *scalability* dan *reliability* tinggi.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan sistem monitoring energi listrik tiga fase yang mengintegrasikan sensor Powermeter 3 phase PM1200 Schneider dengan ESP32 dan *Firestore Realtime Database* untuk menciptakan solusi monitoring yang *real-time*, *scalable*, dan *reliable* khusus untuk lingkungan kampus. Kontribusi utama penelitian ini adalah implementasi langsung antara pengukuran daya 3-fasa dengan penyimpanan data berbasis *cloud* yang memungkinkan monitoring parameter listrik (tegangan, arus, daya) secara simultan pada ketiga fase dengan penyimpanan data yang *persistent* dan *accessible*.

Meskipun demikian, implementasi sistem monitoring energi berbasis IoT menghadapi beberapa tantangan teknis, termasuk akurasi pengukuran daya, stabilitas koneksi internet, dan kompleksitas manajemen data pada sistem tiga fase [11]. Keakuratan pengukuran dapat dipengaruhi oleh kualitas perangkat dan faktor lingkungan, sementara kontinuitas transmisi data bergantung pada reliabilitas koneksi internet. Sistem tiga fase menambah kompleksitas dalam akuisisi dan analisis data, memerlukan desain sistem yang *robust* untuk manajemen data yang efisien dan akurat [12].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring pemakaian energi listrik tiga fase berbasis IoT menggunakan *Firestore* di Kampus PEM Akamigas. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi, menyediakan wawasan mendalam tentang pola konsumsi energi, dan berpotensi menjadi model untuk pengembangan sistem serupa di berbagai konteks [13]. Dengan demikian, implementasi sistem monitoring

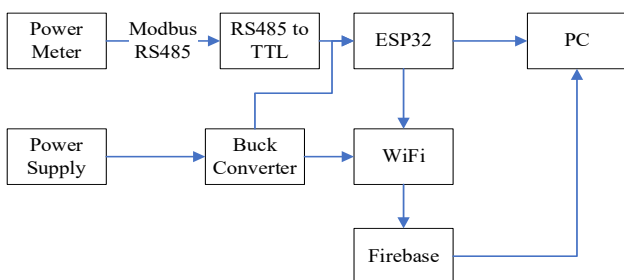
*Korespondensi: mzakyzm@gmail.com

a) Program Studi Teknik Instrumentasi Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Cepu, Indonesia

energi berbasis IoT ini diharapkan dapat memfasilitasi pengelolaan energi yang lebih efektif di Kampus PEM Akamigas, mendukung identifikasi area pemborosan energi, dan implementasi strategi penghematan

2. Metode

Penelitian ini mengadopsi pendekatan eksperimental untuk mengembangkan sistem monitoring energi listrik tiga fase berbasis *Internet of Things* (IoT). Desain penelitian melibatkan integrasi komponen hardware dan software untuk akuisisi data, transmisi, dan analisis konsumsi energi secara *real-time* dengan alur penelitian seperti di Gambar 2.1. Arsitektur sistem monitoring dalam penelitian ini mengintegrasikan berbagai komponen untuk menciptakan solusi pengawasan energi yang komprehensif dan efisien. Pusat dari sistem ini adalah Power Meter, sebuah instrumen pengukur presisi yang mendeteksi parameter listrik seperti tegangan, arus, dan daya pada jaringan tiga fase, memberikan data konsumsi energi yang akurat secara *real-time*. Data ini kemudian diproses oleh ESP32, sebuah mikrokontroler sebagai otak dari sistem IoT, mengintegrasikan kemampuan komputasi dengan konektivitas WiFi dan Bluetooth [14]. Untuk memastikan komunikasi yang lancar antara Power Meter dan ESP32, sistem menggunakan konverter TTL sebagai antarmuka, yang mengkonversi sinyal logika antar perangkat dan menjaga integritas data [15]. Manajemen daya sistem dioptimalkan melalui *buck converter*, yang menurunkan tegangan input ke level yang sesuai untuk komponen sistem lainnya. Protokol Modbus TCP berperan penting dalam memfasilitasi pertukaran data antar perangkat, menggunakan arsitektur client-server melalui jaringan TCP/IP untuk integrasi yang efisien. Catu daya berfungsi sebagai jantung sistem, menyediakan energi listrik yang stabil dan terlindungi untuk seluruh komponen. Konektivitas sistem ke jaringan internet difasilitasi oleh modem WiFi, yang menggunakan teknologi IEEE 802.11 untuk transmisi data nirkabel, memberikan fleksibilitas dalam penempatan sistem. Sebagai pusat kontrol dan analisis, komputer atau laptop digunakan untuk pemrograman, pengumpulan data, visualisasi, dan manajemen keseluruhan sistem [16]. Melengkapi arsitektur ini, *Firebase* berperan sebagai platform *back-end* yang menyediakan layanan penyimpanan data *real-time*, autentikasi, *cloud functions*, *hosting*, dan analitik. Integrasi *Firebase* memungkinkan sistem untuk mencapai skalabilitas, keamanan, dan efisiensi dalam pengelolaan data dan fungsionalitas, menjadikan sistem monitoring ini solusi yang komprehensif dan adaptif untuk pengawasan energi berbasis IoT [17].



GAMBAR 2.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

3. Hasil dan Pembahasan

Sistem monitoring yang dirancang dalam penelitian ini mengintegrasikan berbagai komponen *hardware* dan *software*

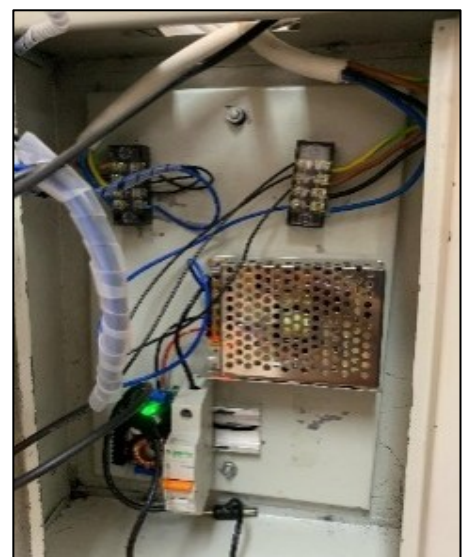
untuk mencapai tujuan pengawasan penggunaan daya secara efektif berbasis platform *Firebase*. Berikut ini dijabarkan hasil perancangan dari sisi perangkat keras dan perangkat lunak.

3.1 Hasil Perancangan Perangkat Keras

Komponen utama yang menjadi pusat sistem adalah power meter PM1200 Schneider, sebuah instrumen pengukuran yang mampu mendeteksi parameter listrik seperti tegangan (V), arus (A), dan daya (W) pada jaringan tiga fase. Power meter ini berkomunikasi dengan sistem menggunakan protokol Modbus, memungkinkan mikrokontroler ESP32 untuk mengakses data secara *real-time* seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.1. Untuk menjaga keamanan sistem, digunakan *Mini Circuit Breaker* (MCB) yang akan memutuskan aliran listrik jika terjadi gangguan arus lebih, mencegah risiko overload dan sebagai suplai ke ke ESP32 seperti pada Gambar 3.2. ESP32 sebagai mikrokontroler utama bertanggung jawab mengatur komunikasi antara Modbus dan Wi-Fi, serta mengirimkan data dari power meter ke platform *Firebase* secara *real-time*.



GAMBAR 3.1 WIRING POWER METER



GAMBAR 3.2 WIRING KOTAK PANEL

3.2 Hasil Perancangan Perangkat Lunak

Program pada sisi *software* diawali dengan inisialisasi koneksi

WiFi menggunakan fungsi *retry_wifi(50)* untuk memastikan perangkat terhubung ke jaringan yang ditunjukkan dalam gambar 3.3. Komunikasi Modbus juga diinisialisasi melalui *init_modbus()* agar ESP32 dapat membaca data dari perangkat sensor yang terhubung. Selanjutnya, dilakukan konfigurasi API Key untuk memastikan perangkat dapat berinteraksi dengan *Firestore*. Setelah terhubung ke WiFi, Arduino mendapatkan alamat IP dan dapat mengirimkan data ke *Firestore* secara *real-time*, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3.4.

Pada tahap implementasi, Arduino memanfaatkan fungsi-fungsi seperti *baca_volt_RN*, *baca_volt_SN*, dan *baca_volt_TN* untuk membaca data dari perangkat Modbus, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.5. Fungsi-fungsi tersebut digunakan untuk mengakses register yang berisi informasi dari sensor, salah satunya seperti data tegangan.

```
final_pmi200_firestore_v3_fx_excel13 set_modbus.h set_wifi.h
#include "set_modbus.h" // Include Modbus communication functions
#include "set_wifi.h" // Include Wi-Fi setup and Firestore push functions

unsigned long cur_time_modbus, old_time_modbus;
unsigned long cur_time_firestore, old_time_firestore;

byte pin_led = 32; // Pin for the LED
//byte pin_led = 2; // Pin for the LED
bool state_led = false; // LED state
int counter_addr = 0; // Counter for Modbus address

void setup() {
  // Initialize the LED pin
  pinMode(pin_led, OUTPUT);

  // Start serial communication
  Serial.begin(115200);

  // Initialize Modbus and Wi-Fi
  init_modbus();
  retry_wifi(50); // Retry Wi-Fi connection if not connected
  configTime(0, 0, ntpServer);
  // Assign the api key (required)
  config.api_key = API_KEY;
}
```

GAMBAR 3.3 PROGRAM FIREBASE ARDUINO

```
final_pmi200_firestore_v3_fx_excel13 set_modbus.h set_wifi.h
#include <WiFi.h>
#include "time.h"
#include <Firestore_ESP_Client.h>
// Provide the token generation process info.
#include "addons/TokenHelper.h"
// Provide the RTDB payload printing info and other helper functions.
#include "addons/RTDBHelper.h"

//uid: 025JvL2WJYok8eyo8mm0n1bPyr1
//web_api_key: A1se5yRvShz210ZmH-16ehmH1Na82d0d6b0-Y
//https://kwh-monitoring-245ac-default-rtdb.firebaseio.com

// Insert Firebase project API Key
#define API_KEY "A1se5yRvShz210ZmH-16ehmH1Na82d0d6b0-Y"
// Insert Authorized Email and Corresponding Password
#define USER_EMAIL "zanolatussana@gmail.com"
#define USER_PASSWORD "eldaverachel123"
// Insert RTDB URL/define the RTDB URL
#define DATABASE_URL "https://kwh-monitoring-245ac-default-rtdb.firebaseio.com"

// Define Firebase objects
FirebaseData fdbdo;
FirebaseAuth auth;
FirebaseConfig config;

// Variable to save USER UID
String uid;

// Database main path (to be updated in setup with the user UID)
String databasePath;
// Database child nodes
```

GAMBAR 3.4 PROGRAM SET WIFI

```
final_pmi200_firestore_v3_fx_excel13 set_modbus.h set_wifi.h
#ifndef SET_MODBUS_H // Check if this header has not been included
#define SET_MODBUS_H // Define it so it won't be included again

#include <ModbusMaster.h> // Include the ModbusMaster library

// Declare Modbus node globally
ModbusMaster node;

// Declare result and other variables
uint8_t result;
uint32_t tempdouble;
float volt_RN, volt_SN, volt_TN;
float arus_ALL, freq, Daya;
int c_read = 0;

#define MAX485_RXD 25
#define MAX485_TXD 33
byte addr_pm = 5;

// Initialize the Modbus communication
void init_modbus() {
  Serial1.begin(9600, SERIAL_0N1, MAX485_RXD, MAX485_TXD);
  node.begin(addr_pm, Serial1);
}

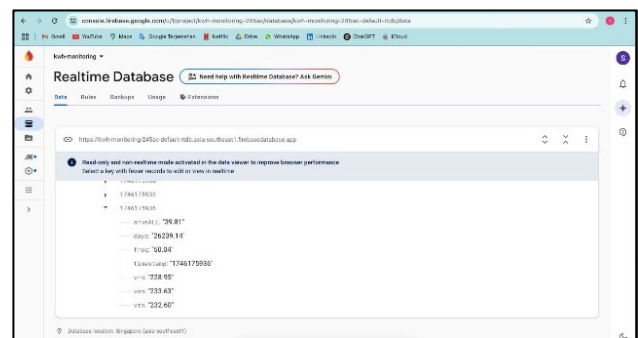
bool baca_volt_RN() {
  bool sts_read = 0;
  result = node.readHoldingRegisters(3926, 2);
  if (result == node.ku8MBSuccess) {
    sts_read = 1;

    tempdouble = node.getResponseBuffer(0);
    tempdouble = node.getResponseBuffer(1) << 16;
```

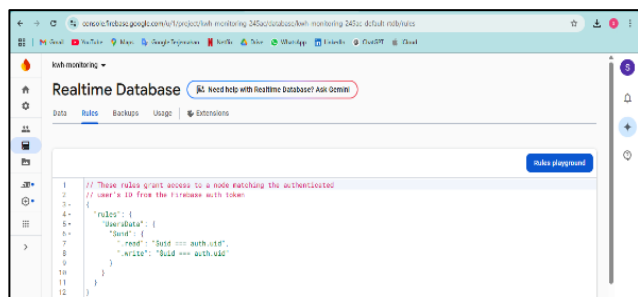
GAMBAR 3.5 PROGRAM SET MODBUS

3.3 Hasil Pembuatan Sistem Monitoring

Data yang dikirimkan dari perangkat secara otomatis masuk ke *Firestore* dalam bentuk *Realtime Database*, memungkinkan akses data langsung tanpa perlu melakukan refresh manual [18]. Pada Gambar 3.6, *Firestore* menggunakan *auth.uid*, yaitu ID unik yang diberikan untuk melakukan autentikasi melalui *Firestore Authentication*. Dengan menerapkan aturan ini, hanya data yang berhubungan dengan ID sendiri yang dapat dibaca dan ditulis, sehingga mencegah akses tidak sah ke data pengguna lain, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.7.



GAMBAR 3.6 FIREBASE CLOUD



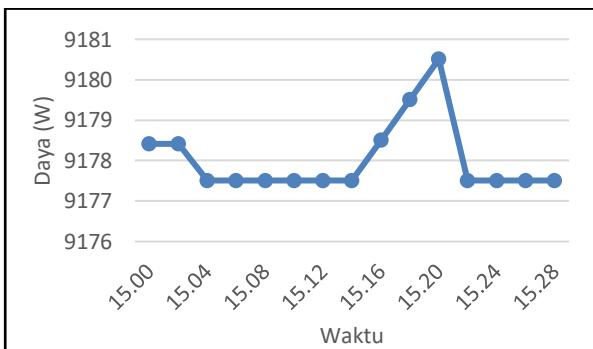
GAMBAR 3.7 RULES AUTHENTICATION FIREBASE

3.4 Hasil Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan selama 2 jam dalam rentang waktu pukul 15.00 hingga 17.00, dengan interval pencatatan setiap 2 menit. Data dibagi menjadi empat sesi pengamatan, masing-masing berdurasi 30 menit yang ditunjukkan dalam Tabel 3.1, Tabel 3.2, Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.

TABEL 3.1 PENGAMBILAN MULAI DARI JAM 15.00-15.28

Waktu	Fasa R (V)	Fasa S (V)	Fasa T (V)	Arus (A)	Daya (W)	Frek. (Hz)
15.00	235,95	230,83	238,29	13,67	9178,41	50,05
15.02	235,95	230,83	238,29	13,67	9178,41	50,05
15.04	235,95	230,83	238,29	13,67	9177,51	50,05
15.06	235,95	230,83	238,29	13,67	9177,51	50,05
15.08	235,95	230,83	238,29	13,67	9177,51	50,05
15.10	235,95	230,83	238,29	13,67	9177,51	50,05
15.12	235,95	230,83	238,29	13,67	9177,51	50,05
15.14	235,95	230,83	238,29	13,67	9177,51	50,05
15.16	235,95	230,83	238,29	14,67	9178,51	51,05
15.18	235,95	230,83	238,29	15,67	9179,51	52,05
15.20	235,95	230,83	238,29	16,67	9180,51	53,05
15.22	235,95	230,83	238,29	13,67	9177,51	50,05
15.24	235,95	230,83	238,29	13,67	9177,51	50,05
15.26	235,95	230,83	238,31	13,67	9177,51	50,05
15.28	235,95	230,83	238,31	13,67	9177,51	50,05

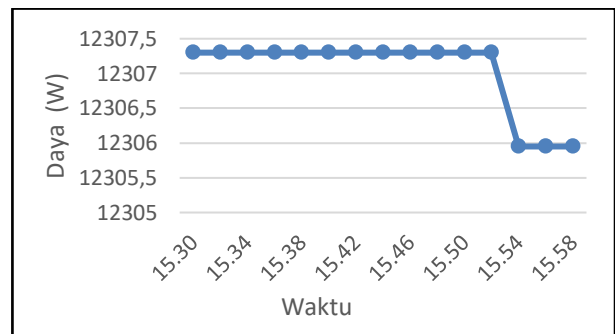


GAMBAR 3.8 GRAFIK PENGUKURAN PUKUL 15.00 – 15.28

TABEL 3.2 PENGAMBILAN MULAI DARI JAM 15.30-15.58

Waktu	Fasa R (V)	Fasa S (V)	Fasa T (V)	Arus (A)	Daya (W)	Frek. (Hz)
15.30	233,43	228,92	237,27	18,5	12307,3	50,05
15.32	233,43	228,92	237,27	18,5	12307,3	50,05
15.34	233,43	228,92	237,27	18,5	12307,3	50,05
15.36	233,45	228,92	237,27	18,5	12307,3	50,05
15.38	233,45	228,92	237,27	18,5	12307,3	50,05
15.40	233,45	228,92	237,27	18,5	12307,3	50,05
15.42	233,45	228,92	237,27	18,5	12307,3	50,05
15.44	233,45	228,92	237,27	18,5	12307,3	50,05
15.46	233,45	228,92	237,27	18,5	12307,3	50,05
15.48	233,45	228,92	237,27	18,5	12307,3	50,05
15.50	233,45	228,92	237,27	18,5	12307,3	50,05
15.52	233,45	228,92	237,27	18,5	12307,3	50,05
15.54	233,45	228,92	237,27	18,5	12305,95	50,05
15.56	233,45	228,92	237,27	18,47	12305,95	50,05
15.58	233,45	228,92	237,27	18,47	12305,95	50,05

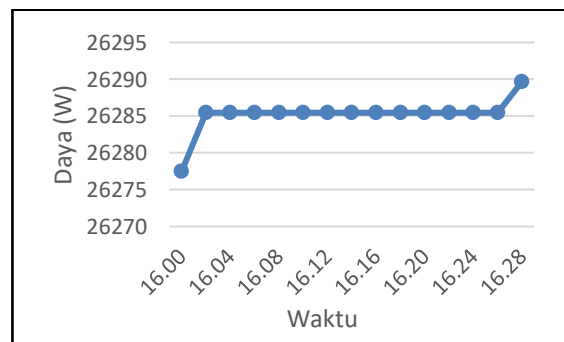
Grafik pengukuran menunjukkan adanya fluktuasi daya sepanjang periode pengamatan. Pada rentang waktu 15.00-15.28, daya total menunjukkan kestabilan relatif di kisaran 9177,2 W dengan sedikit lonjakan yang terjadi pada pukul 15.20, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.8. Selanjutnya, pada periode 15.30-15.58, terjadi peningkatan daya secara signifikan hingga mencapai nilai tertinggi sebesar 12306,14 W, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.9. Puncak fluktuasi daya tercatat pada rentang waktu 16.00-16.28, di mana nilai daya mencapai 26291,96 W, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3.9. Setelah mencapai puncaknya, daya mengalami penurunan kembali pada periode 16.30-17.00 dengan nilai 11894,97 W, sebagaimana disajikan dalam Gambar 3.11.



GAMBAR 3.9 GRAFIK PENGUKURAN PUKUL 15.30 – 15.58

TABEL 3.3 PENGAMBILAN MULAI DARI JAM 16.00-16.28

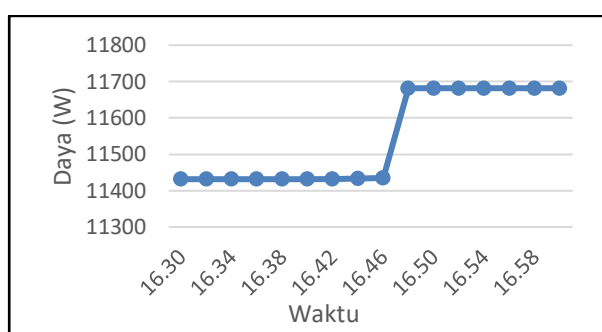
Waktu	Fasa R (V)	Fasa S (V)	Fasa T (V)	Arus (A)	Daya (W)	Frek. (Hz)
16.00	232,53	228,8	233,62	39,79	26277,46	50,04
16.02	232,53	228,8	233,62	39,79	26285,48	50,04
16.04	232,53	228,8	233,62	39,79	26285,48	50,04
16.06	232,53	228,8	233,62	39,79	26285,48	50,04
16.08	232,53	228,8	233,62	39,79	26285,48	50,04
16.10	232,53	228,8	233,62	39,79	26285,48	50,04
16.12	232,53	228,8	233,62	39,79	26285,48	50,04
16.14	232,53	228,82	233,62	39,79	26285,48	50,04
16.16	232,53	228,82	233,59	39,79	26285,48	50,04
16.18	232,53	228,82	233,59	39,79	26285,48	50,04
16.20	232,53	228,82	233,59	39,79	26285,48	50,04
16.22	232,53	228,82	233,59	39,79	26285,48	50,04
16.24	232,53	228,82	233,59	39,79	26285,48	50,04
16.26	232,53	228,82	233,59	39,79	26285,48	50,04
16.28	232,53	228,82	233,59	39,79	26289,67	50,04



GAMBAR 3.10 GRAFIK PENGUKURAN PUKUL 16.00 – 16.28

TABEL 3.4 PENGAMBILAN MULAI DARI JAM 16.30-16.58

Waktu	Fasa R (V)	Fasa S (V)	Fasa T (V)	Arus (A)	Daya (W)	Frek. (Hz)
16.30	233,83	228,66	237,92	17,16	11431,53	50,07
16.32	233,83	228,66	237,92	17,16	11431,53	50,07
16.34	233,83	228,66	237,92	17,16	11431,53	50,07
16.36	233,83	228,66	237,92	17,16	11431,53	50,07
16.38	233,83	228,66	237,92	17,16	11431,53	50,07
16.40	233,83	228,66	237,92	17,16	11431,53	50,07
16.42	234,83	229,66	238,92	18,16	11432,53	51,07
16.44	235,83	230,66	239,92	19,16	11433,53	52,07
16.46	236,83	231,66	240,92	20,16	11434,53	53,07
16.48	233,83	228,66	237,92	17,16	11681,79	50,07
16.50	233,83	228,66	237,92	17,16	11681,79	50,07
16.52	233,83	228,66	237,92	17,55	11681,79	50,07
16.54	233,83	228,66	237,92	17,55	11681,79	50,07
16.56	233,83	228,66	237,92	17,55	11681,79	50,07
16.58	233,83	228,66	237,92	17,55	11681,79	50,07



GAMBAR 3.11 GRAFIK PENGUKURAN PUKUL 16.30 – 16.58

Fluktuasi daya yang terjadi menunjukkan pola yang berkaitan dengan aktivitas di kampus saat jam kerja. Pada pukul 15.00-15.28, daya relatif stabil di sekitar 9177 W, menandakan beban dasar seperti pencahayaan dan peralatan komputer. Kemudian, daya meningkat menjadi sekitar 12307 W pada pukul 15.30-15.58, menandakan mulai aktifnya kegiatan di ruang komunal. Puncaknya terjadi antara pukul 16.00-16.28, dengan konsumsi daya tertinggi mencapai 26285 W, yang disebabkan oleh aktivitas puncak, penggunaan peralatan komputer, dan pendingin ruangan yang bekerja maksimal. Setelah itu, daya menurun lagi saat mendekati pukul 17.00, menandai berkurangnya aktivitas. Variasi tegangan antar fase sedikit imbalance namun masih dalam batas aman, dan frekuensi tetap stabil di 50Hz, menunjukkan kualitas daya dari PLN yang baik.

Dibandingkan penelitian sebelumnya [19], [20], sistem ini lebih unggul karena menggunakan sensor yang lebih akurat dan terintegrasi dengan cloud secara *real-time*, memungkinkan akses data dari berbagai perangkat serta penyimpanan yang aman. Sistem ini juga lebih efisien, handal, dan mampu memberikan data akurat untuk pengelolaan energi kampus. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mengukur dan mentransmisikan parameter listrik tiga fase ke Firebase dengan performa andal. Fluktuasi daya (9177W-26285W) berkorelasi dengan pola operasional kampus, sementara integrasi Firebase memastikan penyimpanan *persistent*, autentikasi, dan aksesibilitas *remote*, menjadikannya solusi *scalable* dan adaptif untuk monitoring energi di lingkungan kampus.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem monitoring energi listrik tiga fase berbasis IoT yang mampu melakukan pengukuran parameter listrik secara *real-time* melalui sensor PM1200, ESP32, dan Firebase. Sistem ini menunjukkan performa yang andal dengan transmisi data *success rate* 100% dan *latency* kurang dari 2 detik, serta mampu merefleksikan pola konsumsi daya kampus dengan puncak di sore hari. Keunggulan sistem dibandingkan penelitian sebelumnya terletak pada monitoring tiga fase secara simultan, integrasi *cloud* yang *scalable*, dan processing data yang baik dari ESP32. Meskipun memiliki keterbatasan seperti ketergantungan pada koneksi Wi-Fi dan belum dilengkapi fitur prediktif, pengembangan di masa depan dapat mencakup penggunaan *machine learning*, fitur notifikasi, integrasi dengan sistem manajemen gedung, serta ekspansi ke berbagai lokasi untuk mewujudkan *smart campus energy management* yang berkelanjutan.

Referensi

- [1] G. N. Popa, A. Iagăr, and C. M. Diniş, "Considerations on Current and Voltage Unbalance of Nonlinear Loads in Residential and Educational Sectors," *Energies*, vol. 14, no. 1, 2021, doi: 10.3390/en14010102.
- [2] M. A. Hamzan, I. M. A. Nrratha, and I. K. Wiryajati, "Rancang Bangun Sistem Pemantauan Daya Listrik Berbasis Android Menggunakan Teknologi React Native," *DIELEKTRIKA*, vol. 9, no. 1, pp. 42–50, 2022.
- [3] Armaan Mulani, Arbaj Shaikh, and Alam Khan, "IoT Smart Electricity Energy Meter with load controlling using ESP32," *Journal of Engineering Design and Computational Science*, vol. 3, no. 1, 2024.
- [4] H. J. El-Khozondar *et al.*, "A smart energy monitoring system using ESP32 microcontroller," *e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 9, p. 100666, 2024.
- [5] Paul Stone Macheso, "ESP32 Based Electric Energy Consumption Meter," *International Journal of Computer Communication and Informatics*, vol. 4, no. 1, 2022, doi: 10.34256/ijccci2213.
- [6] L. P. Antoro, A. I. Rizal, A. S. Wardhana, and M. Z. Z. Muhtadi, "Implementasi Sistem Keamanan Untuk Mendeteksi Gerakan Berbasis IoT Menggunakan Esp32-cam," *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi dan Mineral*, 2024.
- [7] A. R. Tama and S. Winardi, "Monitoring Arus Listrik Dan Kontrol Circuit Breaker untuk Arus Lebih Berbasis Internet of Things (IOT)," *Jurnal Teknologi Dan Ilmu Komputer Prima (JUTIKOMP)*, vol. 5, no. 2, pp. 87–93, 2022.
- [8] J. E. B. Monton, J. T. Dellosa, and R. N. Mendoza, "IoT-Based Energy Monitoring System (IBEMS) for Optimizing Power Consumption in University Facilities," in *2024 8th International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*, Sep. 2024, pp. 1–6. doi: 10.1109/IDAP64064.2024.10710764.
- [9] A. Rhesri, F. Aabadi, R. Bennani, Y. Ben Maissa, A. Tamtaoui, and H. Dahmouni, "Development of a Low-Cost Internet of Things Platform for Three-Phase Energy Monitoring in a University Campus," *IoT*, vol. 6, no. 2, p. 27,

- 2025.
- [10] S. E. Himer, M. Ouaisa, M. Ouaisa, M. Krichen, M. Alswailim, and M. Almutiq, "Energy consumption monitoring system based on IoT for residential rooftops," *Computation*, vol. 11, no. 4, p. 78, 2023.
- [11] Fasha Nur Fauzan, Sri Utami, and Mulki Rezka Budi Pratama, "Monitoring Sistem Kelistrikan Tiga Fasa Berbasis IoT dengan Sensor ACS712 dan ZMPT101B," *ENERGI*, vol. 13, no. 1, pp. 24–29, Aug. 2024, doi: 10.35313/v13i1.5246.
- [12] P. A. Sigit, I. K. D. Patwari, and T. Akbar, "Sistem monitoring daya listrik berbasis iot media kamera," *Jurnal PRINTER: Jurnal Pengembangan Rekayasa Informatika dan Komputer*, vol. 1, no. 2, pp. 167–181, 2023.
- [13] M. Lestari, I. Irwan, and I. R. Pratiwi, "Sistem Pemantauan Daya Listrik Berbasis Website," *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, vol. 2, no. 1, pp. 61–70, 2024.
- [14] Tresna Umar Syamsuri, Rahma Nur Amalia, Mudjiono, and Aly Imron, "Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik di Asrama Berbasis Web Menggunakan ESP32," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 9, no. 3, 2022, doi: 10.33795/elposys.v9i3.648.
- [15] D. U. Suwarno, "Sistem monitoring untuk berbagai variabel elektronis menggunakan protokol modbus dan komunikasi RS485," presented at the Prosiding Seminar Nasional Riset dan Teknologi Terapan (Ritektra), 2021, pp. C3–C3.
- [16] W. N. Susilo, D. Aryani, P. Setiawati, and P. M. Akhirianto, "Sistem monitoring voltage power station berbasis mikrokontroler esp32," *Jurnal Ilmu Komputer*, vol. 8, no. 1, 2023, doi: 10.47007/komp.v8i01.6720.
- [17] P. Chougale, V. Yadav, A. Gaikwad, and B. Vidyapeeth, "Firebase-overview and usage," *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, vol. 3, no. 12, pp. 1178–1183, 2021.
- [18] A. A. Shonta, Muhamad Hasan, Melany Mustika Dewi, and Laily Nur Hamidah, "Penerapan Firebase Realtime Database Pada Aplikasi Media Informasi dan Pendaftaran Training IT Berbasis Android," *J. Media Inform. Budidarma*, vol. 6, no. 3, 2022.
- [19] F. M. Farhan, E. Rosdiana, I. W. Fathonah, and R. A. Salam, "Sistem pemantauan dan pengendalian daya listrik secara real time berbasis mikrokontroler," 2022.
- [20] T. Nusa, "Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Secara Real Time Berbasis Mikrokontroler," *E-journal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 4, no. 5, 2015.