



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**RANCANG BANGUN SISTEM *MONITORING*  
PENGUNAAN ENERGI LISTRIK BERBASIS IOT  
PADA LAB TELEKOMUNIKASI**

**SKRIPSI**

**M Abdi Firdaus**

**2203421024**

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI BROADBAND MULTIMEDIA  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

**2026**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**RANCANG BANGUN SISTEM *MONITORING*  
PENGUNAAN ENERGI LISTRIK BERBASIS IOT  
PADA LAB TELEKOMUNIKASI**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar**

**Sarjana Terapan**

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**

**M Abdi Firdaus**

**2203421024**

**PROGRAM STUDI BROADBAND MULTIMEDIA  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA  
2026**



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Skripsi ini adalah karya saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : M Abdi Firdaus**

**NIM : 2203421024**

**Tanda Tangan :** 

**Tanggal : 30 Juni 2026**



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**LEMBAR PENGESAHAN  
SKRIPSI**

Tugas Akhir diajukan oleh :

Nama : M Abdi Firdaus  
NIM : 2203421024  
Program Studi : Broadband Multimedia  
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Monitoring Penggunaan Energi Listrik Berbasis IoT Pada Lab Telekomunikasi

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Tugas Akhir pada 30 Juni 2026 dan dinyatakan LULUS.

Pembimbing 1 : Dr., Isdawimah, S.T., M.T.  
NIP 196305051988112001

Pembimbing 2 : Agus Wagya, S.T., M.T.  
NIP 196808241999031002

Depok, 30 Juni 2026

Disahkan oleh

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr Murie Dwiyaniti, S.T., M.T

NIP 197803312003122002



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga tugas akhir yang berjudul “Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Penggunaan Energi Listrik Berbasis IoT Pada Lab Telekomunikasi” dapat diselesaikan dengan baik. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk gelar Sarjana Terapan Politeknik Negeri Jakarta.

Penulis menyadari laporan ini masih memiliki kekurangan. Dalam proses penyusunan laporan ini, penulis telah banyak memperoleh bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr., Isdawimah, S.T., M.T. dan Agus Wagya, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta motivasi selama proses penyusunan tugas akhir ini;
2. Para dosen yang selama masa perkuliahan telah memberikan ilmu dan bimbingan dengan penuh kesabaran, meskipun penulis menyadari belum selalu mampu memberikan hasil yang optimal dalam setiap proses pembelajaran;
3. Kedua orang tua, serta keluarga penulis tercinta yang selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan pendidikan ini;
4. Teman-teman yang penulis sayangi telah memberikan bantuan, dukungan, serta semangat selama proses penyusunan tugas akhir;
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Penulis juga berharap laporan ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

Depok, 26 Juni 2026

Penulis



## Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Penggunaan Energi Listrik Berbasis IoT Pada Lab Telekomunikasi

### ABSTRAK

*Monitoring* energi listrik secara *real-time* diperlukan untuk mengetahui kondisi kelistrikan serta kualitas jaringan yang memengaruhi proses pengiriman data pada sistem berbasis *Internet of Things* (IoT). Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem *monitoring* energi listrik tiga fasa berbasis ESP32 menggunakan sensor PZEM-004T. Data hasil pengukuran dikirim ke Firebase Realtime Database dan ditampilkan melalui *website* yang dikembangkan menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript. *Website* menerapkan mekanisme *Role-Based Access Control* (RBAC) dengan dua peran pengguna, yaitu admin dan operator. Sistem juga dilengkapi fitur notifikasi *overload*, pemantauan kualitas jaringan *Quality of Service* (QoS), riwayat data, log aktivitas, serta mekanisme *backup* menggunakan modul MicroSD Card ketika koneksi internet terputus. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata akurasi sensor sebesar 99,81% untuk tegangan, 99,43% untuk arus, 98,76% untuk daya aktif, dan 99,96% untuk energi listrik. Seluruh fitur *website* berfungsi dengan baik dengan *response time* kurang dari 1 detik serta kompatibel pada perangkat Android dan iOS. Pengujian QoS menunjukkan bahwa peningkatan jarak terhadap sumber hotspot menyebabkan penurunan kualitas komunikasi data. Mekanisme *backup* berhasil menjaga kontinuitas data selama gangguan koneksi internet.

**Kata kunci:** IoT, ESP32, PZEM-004T, *monitoring* energi listrik, tiga fasa, QoS

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



## Design and Development of an IoT-Based Electrical Energy Consumption *Monitoring* System in a Telecommunications Laboratory

### ABSTRACT

*Real-time electrical energy monitoring is essential to observe electrical parameters and network quality that affect data transmission in Internet of Things (IoT)-based systems. This research aims to design and implement a three-phase electrical energy monitoring system using an ESP32 microcontroller and PZEM-004T sensors. Measurement data are transmitted to Firebase Realtime Database and displayed through a web application developed using HTML, CSS, and JavaScript. The website implements a Role-Based Access Control (RBAC) mechanism with two user roles: Admin and Operator. The system also provides overload notifications, Quality of Service (QoS) monitoring, historical data, activity logs, and a Micro SD Card-based backup mechanism to prevent data loss during internet outages. Experimental results show average sensor accuracies of 99.81% for voltage, 99.43% for current, 98.76% for active power, and 99.96% for energy measurements. Functional testing indicates that all website features operate correctly with response times below one second and are compatible with both Android and iOS devices. QoS testing demonstrates that increasing the distance from the hotspot reduces communication performance. Furthermore, the backup mechanism successfully preserves monitoring data by automatically synchronizing locally stored data to Firebase once the internet connection is restored.*

**Keywords:** *IoT, ESP32, PZEM-004T, energy monitoring, three-phase, QoS*

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**DAFTAR ISI**

|                                                |      |
|------------------------------------------------|------|
| HALAMAN SAMPUL .....                           | i    |
| HALAMAN JUDUL.....                             | ii   |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....          | iii  |
| LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....                 | iv   |
| KATA PENGANTAR.....                            | v    |
| ABSTRAK .....                                  | vi   |
| ABSTRACT.....                                  | vii  |
| DAFTAR ISI .....                               | viii |
| DAFTAR TABEL.....                              | xi   |
| DAFTAR GAMBAR .....                            | xii  |
| DAFTAR RUMUS.....                              | xiv  |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                          | xv   |
| BAB I PENDAHULUAN .....                        | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....                       | 1    |
| 1.2 Perumusan Masalah .....                    | 2    |
| 1.3 Tujuan.....                                | 2    |
| 1.4 Luaran .....                               | 3    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....                   | 4    |
| 2.1 Smart Meter.....                           | 4    |
| 2.2 Energi Listrik .....                       | 5    |
| 2.3 Tegangan Listrik.....                      | 5    |
| 2.4 Arus Listrik .....                         | 6    |
| 2.5 Daya Listrik.....                          | 7    |
| 2.6 <i>Monitoring</i> .....                    | 8    |
| 2.7 Internet of Things (IoT) .....             | 9    |
| 2.8 Protokol Komunikasi IoT.....               | 10   |
| 2.9 Server <i>Cloud</i> dan Server Lokal ..... | 10   |
| 2.10 Penyimpanan Data dan <i>Backup</i> .....  | 10   |



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

|                                        |                                               |    |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------|----|
| 2.11                                   | Deteksi Beban Lebih ( <i>Overload</i> ) ..... | 11 |
| 2.12                                   | Mikrokontroler ESP32 .....                    | 12 |
| 2.13                                   | Sensor PZEM-004T .....                        | 12 |
| 2.14                                   | Arduino IDE.....                              | 13 |
| 2.15                                   | Firebase .....                                | 15 |
| BAB III PERENCANAAN DAN REALISASI..... |                                               | 16 |
| 3.1                                    | Rancangan Alat .....                          | 16 |
| 3.1.1                                  | Deskripsi Alat.....                           | 17 |
| 3.1.2                                  | Cara Kerja Alat.....                          | 17 |
| 3.1.3                                  | Spesifikasi Alat .....                        | 19 |
| 3.1.4                                  | Diagram Blok .....                            | 21 |
| 3.1.5                                  | Skematik Sistem.....                          | 22 |
| 3.2                                    | Realisasi Perangkat .....                     | 23 |
| 3.2.1                                  | Realisasi Perangkat Keras .....               | 23 |
| 3.2.2                                  | Realisasi Perangkat Lunak .....               | 26 |
| BAB IV PEMBAHASAN.....                 |                                               | 43 |
| 4.1                                    | Pengujian I .....                             | 43 |
| 4.1.1                                  | Deskripsi Pengujian .....                     | 43 |
| 4.1.2                                  | Prosedur Pengujian .....                      | 43 |
| 4.1.3                                  | Data Hasil Pengujian.....                     | 44 |
| 4.1.4                                  | Analisis Data .....                           | 50 |
| 4.2                                    | Pengujian II .....                            | 51 |
| 4.2.1                                  | Deskripsi Pengujian .....                     | 51 |
| 4.2.2                                  | Prosedur Pengujian .....                      | 51 |
| 4.2.3                                  | Data Hasil Pengujian.....                     | 52 |
| 4.2.4                                  | Analisis Data .....                           | 59 |



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

|        |                           |    |
|--------|---------------------------|----|
| 4.3    | Pengujian III.....        | 61 |
| 4.3.1  | Deskripsi Pengujian ..... | 61 |
| 4.3.2  | Prosedur Pengujian .....  | 61 |
| 4.3.3  | Data Hasil Pengujian..... | 62 |
| 4.3.4  | Analisis Data .....       | 64 |
| 4.4    | Pengujian IV .....        | 66 |
| 4.4.1  | Deskripsi Pengujian ..... | 66 |
| 4.4.2  | Prosedur Pengujian .....  | 66 |
| 4.4.3  | Data Hasil Pengujian..... | 67 |
| 4.4.4  | Analisis Data .....       | 68 |
| 4.5    | Pengujian V .....         | 68 |
| 4.5.1  | Deskripsi Pengujian ..... | 68 |
| 4.5.2  | Prosedur Pengujian .....  | 69 |
| 4.5.3  | Data Hasil Pengujian..... | 70 |
| 4.5.4  | Analisis Data .....       | 70 |
| BAB V  | PENUTUP.....              | 72 |
| 5.1    | Kesimpulan .....          | 72 |
| 5.2    | Saran.....                | 73 |
| DAFTAR | PUSTAKA.....              | 75 |



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**DAFTAR TABEL**

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Table 3.1 Spesifikasi Komponen.....                                                         | 20 |
| Tabel 3.2 Penggunaan Pin Sensor PZEM-004T pada ESP32 .....                                  | 24 |
| Tabel 3.3 Penggunaan Pin Modul microSD Card pada ESP32.....                                 | 25 |
| Tabel 3.4 Fungsi Library pada ESP32 yang Digunakan .....                                    | 26 |
| Tabel 4.1 Hasil Pengujian Fasa R .....                                                      | 45 |
| Tabel 4.2 Hasil Pengujian Fasa S .....                                                      | 45 |
| Tabel 4.3 Hasil Pengujian Fasa T .....                                                      | 46 |
| Tabel 4.4 Hasil Pengujian Total dari Fasa R, S, dan T .....                                 | 46 |
| Tabel 4.5 Nilai <i>Error</i> dan Rata-Rata <i>Error</i> Fasa R Pada Beban Aktual.....       | 47 |
| Tabel 4.6 Nilai <i>Error</i> dan Rata-Rata <i>Error</i> Fasa S Pada Beban Aktual.....       | 47 |
| Tabel 4.7 Nilai <i>Error</i> dan Rata-Rata <i>Error</i> Fasa T Pada Beban Aktual .....      | 48 |
| Tabel 4.8. Nilai <i>Error</i> dan Rata-Rata <i>Error</i> Fasa R Pada Beban Terkendali ..... | 49 |
| Tabel 4.9 Nilai <i>Error</i> dan Rata-Rata <i>Error</i> Fasa S Pada Beban Terkendali.....   | 49 |
| Tabel 4.10 Nilai <i>Error</i> dan Rata-Rata <i>Error</i> Fasa S Pada Beban Terkendali.....  | 50 |
| Tabel 4.11 Hasil Pengujian Fungsional dan Response Time Pada Role Admin ...                 | 53 |
| Tabel 4.12 Hasil Pengujian Fungsional dan Response Time Pada Role Admin ...                 | 53 |
| Tabel 4.13 Hasil Pengujian Fungsional dan Response Time Pada Role Admin ...                 | 59 |
| Tabel 4.14 Hasil Pengujian QoS Pada Kondisi Jarak 1 Meter .....                             | 63 |
| Tabel 4.15 Hasil Pengujian QoS Pada Kondisi Jarak 3 Meter .....                             | 63 |
| Tabel 4.16 Hasil Pengujian QoS Pada Kondisi Jarak 5 Meter .....                             | 64 |
| Tabel 4.17 Hasil Pengujian Beban Normal .....                                               | 67 |
| Tabel 4.18 Hasil Pengujian Beban Lebih (Overload) .....                                     | 67 |
| Tabel 4.19 Hasil Pengujian Kondisi Internet Terputus .....                                  | 70 |
| Tabel 4.20 Hasil Pengujian Kondisi Internet Kembali Terhubung .....                         | 70 |

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**DAFTAR GAMBAR**

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Smart Meter.....                                                               | 4  |
| Gambar 2.2 Modul microSD Card.....                                                        | 11 |
| Gambar 2.3 Mikrokontroler ESP32 .....                                                     | 12 |
| Gambar 2.4 Sensor PZEM-004T .....                                                         | 13 |
| Gambar 2.5 Logo Arduino IDE.....                                                          | 14 |
| Gambar 2.6 Logo Google Firebase .....                                                     | 15 |
| Gambar 3.1 Flowchart Perancangan dan Realisasi Alat .....                                 | 16 |
| Gambar 3.2 Flowchart Cara Kerja Alat.....                                                 | 19 |
| Gambar 3.3 Diagram Blok Perancangan dan Realisasi Alat.....                               | 21 |
| Gambar 3.4 Skematik Sistem.....                                                           | 22 |
| Gambar 3.5 Realisasi Perangkat Keras .....                                                | 24 |
| Gambar 3.6 Inisialisasi Library Pada Arduino IDE .....                                    | 26 |
| Gambar 3.7 Proses Inisialisasi Komunikasi UART Sensor PZEM-004T .....                     | 28 |
| Gambar 3.8 Proses Inisialisasi Koneksi Jaringan WiFi .....                                | 28 |
| Gambar 3.9 Proses Menghubungkan ESP32 dengan Database Firebase.....                       | 28 |
| Gambar 3.10 Proses Koneksi dan Autentikasi ke Firebase.....                               | 29 |
| Gambar 3.11 Proses Pembacaan Data Sensor PZEM-004T .....                                  | 29 |
| Gambar 3.12 Proses perhitungan QoS jaringan yang Digunakan Sistem <i>Monitoring</i> ..... | 31 |
| Gambar 3.13 Proses Pengiriman Data ke Firebase Realtime Database .....                    | 32 |
| Gambar 3.14 Proses Penyimpanan Data ke Modul microSD Card .....                           | 34 |
| Gambar 3.15 Tampilan Awal Firebase Console .....                                          | 35 |
| Gambar 3.16 Proses Pembuatan Proyek Baru.....                                             | 36 |
| Gambar 3.17 Proses Pembuatan Realtime Database.....                                       | 36 |
| Gambar 3.18 Tampilan Hasil Pembuatan Database .....                                       | 37 |
| Gambar 3.19 Diagram Use Case Antar Peran .....                                            | 38 |
| Gambar 3.20 Halaman Login .....                                                           | 38 |
| Gambar 3.21. Halaman Fitur Lupa Password .....                                            | 39 |
| Gambar 3.22 Halaman Dashboard <i>Monitoring</i> .....                                     | 40 |
| Gambar 3.23 Halaman Notifikasi .....                                                      | 40 |
| Gambar 3.24 Halaman Riwayat Data.....                                                     | 41 |



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| Gambar 3.25 Halaman Manajemen Akun.....                  | 41 |
| Gambar 3.26 Halaman Log Aktivitas.....                   | 42 |
| Gambar 4.1 Tampilan Website pada Samsung Galaxy M12..... | 54 |
| Gambar 4.2 Tampilan Website pada iPhone 13 .....         | 55 |
| Gambar 4.3 Tampilan Website pada Poco M3 .....           | 56 |
| Gambar 4.4 Tampilan Website pada iPhone 11.....          | 57 |
| Gambar 4.5 Tampilan Website pada Xiaomi 12T .....        | 58 |





**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**DAFTAR RUMUS**

|     |                                        |    |
|-----|----------------------------------------|----|
| 2.1 | Persamaan Energi Listrik .....         | 5  |
| 2.2 | Persamaan Tegangan Listrik .....       | 6  |
| 2.3 | Persamaan Arus Listrik .....           | 6  |
| 2.4 | Persamaan Daya Aktif.....              | 7  |
| 2.5 | Persamaan Daya Semu.....               | 8  |
| 2.6 | Persamaan Daya Reaktif.....            | 8  |
| 2.7 | Persamaan <i>Error</i> .....           | 13 |
| 2.8 | Persamaan Rata-Rata <i>Error</i> ..... | 13 |





**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**DAFTAR LAMPIRAN**

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| L.1 Daftar Riwayat Hidup.....                          | 77 |
| L.2 Dokumentasi Proses Pemasangan Perangkat Keras..... | 78 |
| L.3 Dokumentasi Proses Pengujian.....                  | 79 |
| L.4 Datasheet Sensor.....                              | 80 |
| L.5 Program Arduino.....                               | 82 |





**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik di lingkungan Pendidikan, khususnya pada laboratorium telekomunikasi, terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah perangkat aktif seperti router, switch, server *cloud*, perangkat radio, dan alat praktikum berbasis teknologi digital. Penggunaan energi listrik yang tidak terpantau secara detail berpotensi menimbulkan pemborosan energi, peningkatan biaya operasional, serta risiko terjadinya beban lebih (*overload*) yang dapat mengganggu keandalan peralatan dan aktivitas pembelajaran.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pemantauan konsumsi energi listrik secara *real-time* melalui integrasi sensor, mikrokontroler, dan jaringan internet. Sistem *monitoring* energi listrik berbasis IoT dengan mikrokontroler ESP32 mampu mengukur parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, dan energi listrik, serta menampilkan data tersebut melalui dashboard berbasis *website* untuk memudahkan analisis pola penggunaan energi (Khaeri et al., 2025; Noor et al., 2025).

Selain pemantauan energi, keandalan sistem sangat dipengaruhi oleh kinerja jaringan komunikasi yang digunakan. Evaluasi parameter *Quality of Service* (QoS) seperti *latency*, *jitter*, *throughput*, dan *packet loss* menjadi penting pada sistem IoT untuk menjamin keakuratan dan ketepatan waktu pengiriman data (Nurfiqin et al., 2021). Dari sisi lain, pengelolaan beban listrik merupakan aspek penting dalam menjaga keandalan dan efisiensi sistem, terutama dalam menghadapi variasi konsumsi energi yang terus meningkat (Wahyu Kurniyanto & Adhi Setiawan, 2025).

Namun demikian, berdasarkan studi terdahulu, sebagian besar sistem *monitoring* energi listrik masih memiliki keterbatasan, seperti belum adanya integrasi antara pemantauan energi secara *real-time*, analisis kinerja jaringan komunikasi (QoS), serta mekanisme penyimpanan data cadangan ketika koneksi internet terputus. Selain itu, beberapa sistem hanya berfokus pada *monitoring* tanpa menyediakan fitur deteksi beban lebih secara langsung yang dapat meningkatkan keamanan sistem kelistrikan.



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan rancang bangun sistem *monitoring* penggunaan energi listrik berbasis IoT pada laboratorium telekomunikasi yang mampu memantau konsumsi energi secara *real-time*, menampilkan data penggunaan energi listrik dan kinerja jaringan komunikasi secara terpusat melalui *dashboard* berbasis *website*, mendeteksi kondisi beban lebih, serta menjaga ketersediaan data melalui mekanisme penyimpanan cadangan berbasis microSD Card. Sistem ini diharapkan tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik, tetapi juga mendukung pembelajaran dan penelitian di bidang telekomunikasi.

## 1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah:

- a. Bagaimana tingkat akurasi sensor PZEM-004T dalam membaca parameter kelistrikan pada sistem *monitoring* energi listrik tiga fasa secara *real-time*?
- b. Bagaimana fungsionalitas, waktu *response time*, dan kompatibilitas antarmuka sistem *monitoring* terpusat berbasis *website*?
- c. Bagaimana Pengaruh variasi jarak perangkat terhadap kualitas layanan jaringan komunikasi *Quality of Service* yang memengaruhi sistem *monitoring*?
- d. Bagaimana mengimplementasikan sistem yang mampu mendeteksi kondisi beban lebih berdasarkan parameter arus listrik yang diukur secara *real-time*?
- e. Bagaimana menjaga ketersediaan data pengukuran ketika koneksi WiFi terputus melalui sistem *backup* berbasis microSD Card?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari proyek rancang bangun sistem *monitoring* penggunaan energi listrik berbasis IoT pada laboratorium telekomunikasi adalah:

- a. Mengevaluasi tingkat akurasi sensor PZEM-004T dalam mengukur tegangan, arus, daya aktif, daya semu, daya reaktif, dan energi kelistrikan tiga fasa secara *real-time*.



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- b. Memvalidasi fungsionalitas, mengukur waktu *response time*, dan memastikan kompatibilitas *website monitoring* pada berbagai perangkat.
- c. Menganalisis pengaruh variasi jarak antara perangkat IoT dengan titik akses jaringan terhadap kualitas layanan komunikasi *Quality of Service* (QoS) yang meliputi parameter RSSI, *latency*, *packet loss*, *jitter*, dan *throughput*.
- d. Mengimplementasikan mekanisme deteksi beban lebih berdasarkan parameter arus listrik yang diukur secara *real-time*.
- e. Mengimplementasikan sistem penyimpanan cadangan data berbasis microSD Card untuk menjaga ketersediaan data ketika koneksi WiFi terputus.

### 1.4 Luaran

Luaran yang diharapkan dari proyek ini adalah:

- a. Perangkat IoT berbasis ESP32 dengan sistem *monitoring website* untuk memantau energi listrik secara real-time serta mendeteksi beban lebih.
- b. Dokumentasi teknis dan laporan proyek yang menjelaskan perancangan, implementasi, serta hasil pengujian sistem.
- c. Artikel Ilmiah yang siap diajukan pada jurnal nasional.
- d. Artikel ilmiah yang siap diajukan pada seminar nasional.

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Penggunaan Energi Listrik Berbasis *Internet of Things* (IoT) pada Laboratorium Telekomunikasi, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berhasil dirancang dan diimplementasikan sistem *monitoring* energi listrik tiga fasa berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 dan tiga sensor PZEM-004T yang mampu mengukur parameter tegangan, arus, daya aktif, daya semu, daya reaktif, dan energi listrik secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T mampu mengukur parameter kelistrikan dengan tingkat ketelitian yang baik. Pada pengujian beban aktual, rata-rata *error* pengukuran tegangan sangat kecil, yakni berada pada rentang 0,44%–0,93%, sedangkan rata-rata *error* arus berada pada rentang 0,51%–4,88%. Sementara itu, pada pengujian beban terkendali, rata-rata *error* tegangan berada pada rentang 0,79%–0,93% dan *error* arus konstan sebesar 5,56% pada seluruh fasa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki tingkat kesalahan yang rendah dan konsisten, sehingga sangat layak digunakan sebagai perangkat akuisisi data utama kelistrikan.
2. Sistem *monitoring* terpusat berbasis *website* berhasil dikembangkan menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript dengan memanfaatkan *Firebase Authentication* dan *Firebase Realtime Database*. Sistem sukses menerapkan mekanisme *Role-Based Access Control* (RBAC) yang membedakan otoritas fitur (seperti manajemen akun dan unduh riwayat) antara *Admin* dan *Operator*. Hasil pengujian fungsional menunjukkan seluruh fitur berjalan sempurna sesuai kebutuhan. Waktu respons (*response time*) tercatat sangat cepat, berkisar antara 260 ms hingga 740 ms (seluruh proses di bawah 1 detik). Pengujian kompatibilitas juga menegaskan bahwa *website* mampu diakses secara sempurna dengan tampilan yang responsif pada berbagai perangkat *mobile* berbasis Android maupun iOS.



#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3. Hasil pengujian *Quality of Service* (QoS) membuktikan bahwa performa sistem *monitoring* secara *real-time* sangat dipengaruhi oleh jarak fisik perangkat IoT terhadap sumber *hotspot*. Pada jarak terdekat (1 meter), kualitas jaringan berada pada kondisi "Optimal" (sinyal kuat, *latency* 87–335 ms). Saat jarak dijauhkan menjadi 5 meter, performa menurun ke status "Cukup". Pada titik terjauh (10 meter), kualitas jaringan anjlok menjadi "Buruk", yang ditandai dengan penurunan drastis nilai kekuatan sinyal (RSSI -71 dBm), anjloknya *throughput* (1 kbps), serta lonjakan ekstrem pada *latency* (2498 ms), *jitter* (3554,1 ms), dan *packet loss* (12,5%). Kesimpulannya, keandalan pengiriman data *monitoring* mutlak membutuhkan radius jangkauan sinyal WiFi yang memadai.
4. Hasil pengujian deteksi beban lebih (*overload*) menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi kondisi ketika arus pada masing-masing fasa maupun arus total melebihi batas yang telah ditentukan. Ketika kondisi tersebut terjadi, *website* secara otomatis menampilkan notifikasi sehingga pengguna dapat segera mengetahui adanya potensi gangguan pada sistem kelistrikan.
5. Mekanisme *backup* data menggunakan modul MicroSD Card berhasil diimplementasikan. Saat koneksi internet terputus, data hasil pengukuran disimpan secara lokal dengan status Data *offline*. Setelah koneksi internet kembali normal, sistem secara otomatis mengunggah data yang tersimpan ke Firebase Realtime Database dengan status *Backup uploaded*. Kesesuaian nilai *timestamp* dan parameter kelistrikan sebelum dan sesudah proses *upload* menunjukkan bahwa proses sinkronisasi berlangsung tanpa kehilangan maupun perubahan data, sehingga kontinuitas data *monitoring* tetap terjaga.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan selanjutnya:

1. Mengembangkan sistem menggunakan algoritma *machine learning* untuk mendeteksi anomali penggunaan energi listrik sehingga potensi gangguan diketahui lebih awal.



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

2. Mengembangkan sistem dengan fitur notifikasi otomatis (*alarm*) saat terjadi *overload*.
3. Mengembangkan aplikasi *monitoring* dalam bentuk aplikasi berbasis mobile agar akses data lebih fleksibel.



### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



## DAFTAR PUSTAKA

- Android, D. A., Bangun, R., Monitoring, A., Listrik, D., Iot, B., Firebase, M., William, J., S13teknik9elektro2fakultas1teknik4universitas9negeri2surabaya, J., Widodo, A., Kholis, N., & Rakhmawati, L. (n.d.). *Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT Menggunakan Firebase*.
- Furqon, A., Prasetyo, A. B., & Widiyanto, E. D. (n.d.). *Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kendali Daya Listrik pada Rumah Kos Menggunakan NodeMCU dan Firebase Berbasis Android*.
- Haris Munandar, A., & Alvin Soetrisno, Y. A. (n.d.). Implementasi Advanced Metering Infrastructure (AMI). *JPPII*, 2(4), 212–222. <https://doi.org/10.14710/jpii.2024.24571>
- Khaeri, S., Gilang Pratama, B., & Handayani, T. (2025). Rancang Bangun Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis IoT Untuk Pemantauan dan Analisis Konsumsi Daya. *JMTE (Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro)*, 6(2), 76–87. <https://journal.itny.ac.id/index.php/JMTE/article/view/5983>
- Monika, D., Kusuma Wardhany, A., Nafisul Anwar, M., Danang Murtadho, F., Nurhidayat, W., Chandra Hartanto, S., Otomasi Listrik Industri, T., Elektro, T., & Negeri Jakarta Jl GA Siwabessy, P. D. (2025). Evaluasi Akurasi Sensor Tegangan, Arus, Suhu, dan Angin pada PLTS & PLTB. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, 11. <https://prosiding.pnj.ac.id/index.php/SNTE/article/view/3930>
- Muslihi, M. T., Studi, P., Listrik, T., Instalasi, D., Komunitas, A., Bantaeng, I. M., & Com, M. M. (2025). Pengembangan dan Evaluasi Sistem Monitoring Konsumsi Daya Listrik Berbasis IoT dengan Sensor PZEM-004T dan ESP8266. *JURNAL FASILKOM*, 15(1), 77–83. <https://doi.org/https://doi.org/10.37859/jf.v15i1.8508>
- Nasution, I., Orlando Simanjuntak, J., Hasmintha Maha, D., & Timotius Gultom, T. (2026). Rancang Bangun Sistem Monitoring Dan Pengaman Beban Listrik Pada Rumah Berbasis IoT Dengan Notifikasi Dan Pemutusan Daya Otomatis. *KAKIFIKOM (Kumpulan Artikel Karya Ilmiah Fakultas Ilmu Komputer)*, 08(1), 49–60. <https://doi.org/https://doi.org/10.35313/jitel.v3.i3.2023.235-246>
- Noor, A., Rahmanto, O., Studi Teknologi Informasi, P., Negeri Tanah Laut Jln Ahmad Yani NoKm, P., & Laut Kalimantan Selatan, T. (2025). SISTEM MONITORING PENGGUNAAN ENERGI LISTRIK RUMAH BERBASIS INTERNET OF THINGS. *JIRE (Jurnal Informatika & Rekayasa Elektronika)*, 8(2), 290–307. <https://doi.org/https://doi.org/10.36595/jire.v8i2.1572>
- Nurfiqin, L., Sari, Z., Dwi, F., & Sumadi, S. (2021). Analisis Quality of Service (QoS) Protokol MQTT dan HTTP Pada Sistem Smart Metering Arus Listrik. *REPOSITOR*, 3(1), 121–130.

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Prabowo, Y., Narendro, A., Wisjhnuadji, T., & Teknologi Informasi, F. (2023). Uji Akurasi Modul KWH Meter Digital PZEM-004T Berbasis Pengendali Digital ESP32. *SKANIKA: Sistem Komputer Dan Teknik Informatika*, 6(1), 85–96.

Saputra, E. M., Ramadhani, U. A., Studi, P., Elektro, T., Sumatera, T., Selatan, L., Ryacudu, J. T., Hui, W., & Agung, J. (2022). *Rancang Bangun Prototipe Detektor Gangguan Listrik Berbiaya Rendah Berbasis IP pada Kampus Institut Teknologi Sumatera* (Vol. 16, Number 2).

Siregar, A., Parapat, A. S., Tumangger, P., Suryanto, E. D., & Saragih, D. P. (2026). RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING ENERGI LISTRIK BERBASIS INTERNET OF THINGS ( IOT ). *Jurnal Sains Student Research (JSSR)*, 4(2), 279–291. <https://doi.org/10.61722/jssr.v4i2.9488>

Wahyu Kurniyanto, F., & Adhi Setiawan, E. (2025). Utilization of Advanced Metering Infrastructure (AMI) Data for Optimization of Load Management and Dynamic Pricing at PLN. *JTUS (Journal Transnational Universal Studies)*, 3(9), 219–238. <https://doi.org/https://doi.org/10.58631/jtus.v3i9.178>

Wiesesha, A., & Ridhoi, A. (n.d.). *RANCANG BANGUN MONITORING LISTRIK PADA RUMAH BERBASIS IOT MENGGUNAKAN ESP32*.

Yasa, K. A., Made Purbhawa, I, Made, I., Yasa, S., Teresna, W., Nugroho, A., & Winardi, S. (2023). *IoT-based Electrical Power Recording using ESP32 and PZEM-004T Microcontrollers*. <https://doi.org/10.32996/jests>

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## LAMPIRAN

### L.1 Daftar Riwayat Hidup



M Abdi Firdaus

Lulus dari SDN Karang Maritim tahun 2015, SMPN 9 Bandar Lampung tahun 2018, dan SMAN 10 Bandar Lampung tahun 2021. Saat ini penulis sedang menempuh pendidikan Diploma IV (D4) pada Program Studi Broadband Multimedia, Teknik elektro, Politeknik Negeri Jakarta sejak tahun 2022 hingga sekarang.

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### L.2 Dokumentasi Proses Pemasangan Perangkat Keras



#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ITEKNIK  
GERI  
AKARTA



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### L.3 Dokumentasi Proses Pengujian



**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## L.4 Datasheet Sensor

### A. DataSheet Sensor PZEM-004T

| No | Parameter Pengukuran           | Rentang Pengukuran      | Resolusi/Akurasi |
|----|--------------------------------|-------------------------|------------------|
| 1  | Tegangan (Voltage)             | 80 ~ 260 V AC           | 0.1 V            |
| 2  | Arus (Current)                 | 0 ~ 100 A               | 0.001 A          |
| 3  | Daya Aktif (Active Power)      | 0 ~ 23 kW<br>(23.000 W) | 0.1 W            |
| 4  | Energi Listrik (Active Energy) | 0 ~ 9999.99 kWh         | 1 Wh             |
| 5  | Frekuensi (Frequency)          | 45 ~ 65 Hz              | 0.1 Hz           |
| 6  | Faktor Daya (Power Factor)     | 0.00 ~ 1.00             | 0.01             |

### B. Datasheet Mikrokontroler ESP32

| No | Parameter                       | Nilai                                         |
|----|---------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1  | Chipset / SoC                   | Espressif ESP32-WROOM-32                      |
| 2  | Arsitektur prosesor             | Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6                  |
| 3  | Kecepatan <i>clock</i> maksimal | 240 MHz                                       |
| 4  | SRAM internal                   | 520 KB                                        |
| 5  | ROM internal                    | 448 KB                                        |
| 6  | Flash memori (SPI eksternal)    | 4 MB                                          |
| 7  | RTC SRAM                        | 16 KB (8 KB tersedia saat <i>deep sleep</i> ) |

### C. Datasheet Modul MicroSD card

| No | Parameter                 | Nilai                                      |
|----|---------------------------|--------------------------------------------|
| 1  | Tegangan suplai (VCC)     | 3,3 V atau 5 V DC                          |
| 2  | Tegangan operasi internal | 3,3 V                                      |
| 3  | Tegangan level logika SPI | 3,3 V (langsung kompatibel dengan ESP32)   |
| 4  | Protokol komunikasi       | SPI ( <i>Serial Peripheral Interface</i> ) |
| 5  | Mode SPI                  | Mode 0 (CPOL = 0, CPHA = 0)                |



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

|   |                                     |                                           |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------------|
| 6 | Kecepatan <i>clock</i> SPI maksimal | Hingga 25 MHz (tergantung kelas kartu SD) |
| 7 | Kecepatan <i>clock</i> inisialisasi | 100 kHz ~ 400 kHz                         |





## L.5 Program Arduino

```
//3 sensor fix - SD Card & PZEM fixed

#include <PZEM004Tv30.h>
#include <HardwareSerial.h>
#include <math.h>
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <Firebase_ESP_Client.h>
#include <time.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>

// ===== SD CARD =====
// Pin SPI default ESP32: SCK=18, MISO=19, MOSI=23, CS=5
const int SD_CS = 5;
const int SD_SCK = 18;
const int SD_MISO = 19;
const int SD_MOSI = 23;
bool sdOK = false;
File uploadFile;
bool isUploadingSD = false;
unsigned long lastSDRetry = 0;
const unsigned long sdRetryInterval = 30000; // Retry setiap 30
detik jika gagal

// ===== FIREBASE =====
#define API_KEY "AIzaSyBYMpHx1akRi7A5aCc6u7FDd5IW8c5Isbo"
#define DATABASE_URL "https://monitoring-listrik-8c29e-default-
rtdb.asia-southeast1.firebaseio.com/"

FirebaseData fbdo;
FirebaseAuth auth;
FirebaseConfig config;
bool signupOK = false;

// ===== WIFI & SERVER =====
const char* ssid = "indihome";
const char* password = "12345678.";

// ===== NTP SERVER =====
const char* ntpServer = "pool.ntp.org";
const long gmtOffset_sec = 25200; // GMT+7 (WIB)
const int daylightOffset_sec = 0;

// ===== UART =====
```

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
HardwareSerial SerialPZEM1(1);
HardwareSerial SerialPZEM_shared(2); // Satu objek UART2 untuk PZEM2
& PZEM3

// ===== PZEM =====
PZEM004Tv30 pzem1(SerialPZEM1, 16, 17);
PZEM004Tv30 pzem2(SerialPZEM_shared, 25, 33);
PZEM004Tv30 pzem3(SerialPZEM_shared, 26, 27);

// ===== SENSOR =====
float V1=0, I1=0, P1=0, S1=0, Q1=0, E1=0;
float V2=0, I2=0, P2=0, S2=0, Q2=0, E2=0;
float V3=0, I3=0, P3=0, S3=0, Q3=0, E3=0;

double energiManual1=0, energiManual2=0, energiManual3=0;

String status1="NORMAL";
String status2="NORMAL";
String status3="NORMAL";

// ===== TOTAL DATA =====
float V_avg=0, I_total=0, P_total=0, S_total=0, Q_total=0,
E_total=0;
String statusTotal="NORMAL";

// ===== TIMER =====
unsigned long lastMicros=0;
unsigned long lastEnergyRead=0;
unsigned long lastQoSCheck=0;
unsigned long lastUpload=0;
const unsigned long uploadInterval = 10000;

// ===== STEP =====
int step = 0;
int toggleSensor = 0; // 0 untuk PZEM2, 1 untuk PZEM3
unsigned long lastRead = 0;
const unsigned long sensorInterval = 300; // Interval lambat 300ms
antar instruksi

// ===== QoS =====
int rssi=0;
long latency=0;
float packetLoss=0;
float jitter=0;
float throughput=0;
String kualitas="UNKNOWN";
```



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
// --- Validasi Kalkulasi QoS ---
const int QOS_HISTORY_SIZE = 10;
long latencyHistory[QOS_HISTORY_SIZE];
int latencyIndex = 0;
bool latencyFilled = false;
long totalRequests = 0;
long failedRequests = 0;

// ===== WIFI =====
void setup_wifi() {
  Serial.print("Menghubungkan WiFi");
  WiFi.begin(ssid, password);

  int retries = 0;
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && retries < 20) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
    retries++;
  }

  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    Serial.println("\nWiFi Terhubung!");
    Serial.println(WiFi.localIP());
  } else {
    Serial.println("\nWiFi Gagal Terhubung, berjalan secara offline...");
  }

  // Inisialisasi NTP (akan otomatis sinkronisasi ketika WiFi
  terhubung nanti)
  configTime(gmtOffset_sec, daylightOffset_sec, ntpServer);
}

// ===== TIMESTAMP =====
unsigned long lastNTPTime = 0;      // Terakhir kali berhasil dapat
NTP
unsigned long lastNTPMillis = 0;    // millis() saat NTP terakhir
berhasil
bool ntpSynced = false;

unsigned long getTime() {
  time_t now;
  struct tm timeinfo;
  if (getLocalTime(&timeinfo)) {
    time(&now);
    // Simpan sebagai referensi untuk estimasi offline
    lastNTPTime = now;
  }
}
```



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

lastNTPMillis = millis();
ntpSynced = true;
return now;
}

// Fallback: estimasi timestamp berdasarkan NTP terakhir + selisih
millis
if (ntpSynced && lastNTPTime > 0) {
    unsigned long elapsed = (millis() - lastNTPMillis) / 1000;
    return lastNTPTime + elapsed;
}

// Belum pernah sync NTP sama sekali - gunakan millis sebagai
penanda unik
// Timestamp akan dimulai dari 1 (bukan 0) agar tidak diskip saat
recovery
return (millis() / 1000) + 1;
}

// ===== UPLOAD DATABASE =====
void populatePhaseJson(FirebaseJson* json, String sensor_id, String
phase, float v, float i, float p, float s, float q, float e, String
status, unsigned long timestamp) {
    json->set("sensor_id", sensor_id);
    json->set("phase", phase);
    json->set("voltage", v);
    json->set("current", i);
    json->set("active_power", p);
    json->set("apparent_power", s);
    json->set("reactive_power", q);
    json->set("energy", e);
    json->set("status", status);
    json->set("timestamp", (double)timestamp);
}

// ===== SD CARD FUNCTIONS =====
bool initSDCard() {
    // Pastikan SPI diinisialisasi dengan pin yang benar
    SPI.begin(SD_SCK, SD_MISO, SD_MOSI, SD_CS);

    // Coba inisialisasi SD Card dengan retry
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
        if (SD.begin(SD_CS)) {
            Serial.println("SD Card berhasil diinisialisasi.");
            sdOK = true;
            return true;
        }
    }
}

```



### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

Serial.print("SD Card init gagal, percobaan ke-");
Serial.println(i + 1);
delay(500);
}

Serial.println("SD Card gagal diinisialisasi setelah 3x
percobaan!");
sdOK = false;
return false;
}

void simpanKeSDCard() {
    if (!sdOK) return;
    File file = SD.open("/backup.txt", FILE_APPEND);
    if (!file) {
        Serial.println("Gagal membuka backup.txt di SD Card");
        return;
    }
    unsigned long timestamp = getTime();

    String dataString = String(timestamp) + "," +
        String(V1) + "," + String(I1) + "," +
    String(P1) + "," + String(S1) + "," + String(Q1) + "," + String(E1)
    + "," + status1 + "," +
        String(V2) + "," + String(I2) + "," +
    String(P2) + "," + String(S2) + "," + String(Q2) + "," + String(E2)
    + "," + status2 + "," +
        String(V3) + "," + String(I3) + "," +
    String(P3) + "," + String(S3) + "," + String(Q3) + "," + String(E3)
    + "," + status3 + "," +
        String(V_avg) + "," + String(I_total) + "," +
    String(P_total) + "," + String(S_total) + "," + String(Q_total) +
    "," + String(E_total) + "," + statusTotal;
    file.println(dataString);
    file.close();
    Serial.println("Data offline tersimpan ke SD Card.");
}

bool uploadSingleLineToFirebase(String line) {
    int maxFields = 29;
    String fields[29];
    int fieldCount = 0;
    int startIndex = 0;
    for (int i = 0; i < maxFields; i++) {
        int commaIndex = line.indexOf(',', startIndex);
        if (commaIndex == -1) {
            fields[i] = line.substring(startIndex);

```



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

        fieldCount = i + 1;
        break;
    } else {
        fields[i] = line.substring(startIndex, commaIndex);
        startIndex = commaIndex + 1;
        fieldCount = i + 1;
    }
}

// Validasi: pastikan ada cukup field dan timestamp valid
if (fieldCount < 29) {
    Serial.println("Baris backup tidak lengkap, dilewati.");
    return true; // Skip baris rusak, lanjut ke baris berikutnya
}

unsigned long timestamp = strtoul(fields[0].c_str(), NULL, 10);
if (timestamp == 0) {
    Serial.println("Timestamp invalid (0), dilewati.");
    return true; // Skip baris yang benar-benar invalid
}

FirebaseJson jsonR, jsonS, jsonT, jsonTotal;

populatePhaseJson(&jsonR, "0x01", "R", fields[1].toFloat(),
fields[2].toFloat(), fields[3].toFloat(), fields[4].toFloat(),
fields[5].toFloat(), fields[6].toFloat(), fields[7], timestamp);
populatePhaseJson(&jsonS, "0x02", "S", fields[8].toFloat(),
fields[9].toFloat(), fields[10].toFloat(), fields[11].toFloat(),
fields[12].toFloat(), fields[13].toFloat(), fields[14], timestamp);
populatePhaseJson(&jsonT, "0x03", "T", fields[15].toFloat(),
fields[16].toFloat(), fields[17].toFloat(), fields[18].toFloat(),
fields[19].toFloat(), fields[20].toFloat(), fields[21], timestamp);

jsonTotal.set("voltage_avg", fields[22].toFloat());
jsonTotal.set("current_total", fields[23].toFloat());
jsonTotal.set("active_power_total", fields[24].toFloat());
jsonTotal.set("apparent_power_total", fields[25].toFloat());
jsonTotal.set("reactive_power_total", fields[26].toFloat());
jsonTotal.set("energy_total", fields[27].toFloat());
jsonTotal.set("status", fields[28]);
jsonTotal.set("timestamp", (double)timestamp);

// Cek hasil upload - jika SATU SAJA gagal, return false agar
baris ini di-retry
bool ok = true;
if (!Firebase.RTDB.pushJSON(&fbdo,
"/monitoring_listrik/history/R", &jsonR)) {

```



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

    Serial.print("Gagal upload R: ");
    Serial.println(fbdo.errorReason());
    ok = false;
  }
  if (!Firebase.RTDB.pushJSON(&fbdo,
    "/monitoring_listrik/history/S", &jsonS)) {
    Serial.print("Gagal upload S: ");
    Serial.println(fbdo.errorReason());
    ok = false;
  }
  if (!Firebase.RTDB.pushJSON(&fbdo,
    "/monitoring_listrik/history/T", &jsonT)) {
    Serial.print("Gagal upload T: ");
    Serial.println(fbdo.errorReason());
    ok = false;
  }
  if (!Firebase.RTDB.pushJSON(&fbdo,
    "/monitoring_listrik/history/total", &jsonTotal)) {
    Serial.print("Gagal upload Total: ");
    Serial.println(fbdo.errorReason());
    ok = false;
  }

  if (ok) {
    Serial.print("✓ Uploaded backup timestamp: ");
    Serial.println(timestamp);
  }
  return ok;
}

unsigned long uploadedLines = 0;    // Jumlah baris yang sudah
berhasil diupload
unsigned long skippedToLine = 0;    // Baris yang harus diskip
(sudah diupload sebelumnya)
int uploadRetryCount = 0;           // Counter retry untuk baris
yang gagal
const int MAX_UPLOAD_RETRY = 3;     // Maksimal retry per baris

void checkAndUploadSD() {
  if (!sdOK) return;

  if (!isUploadingSD) {
    // Langkah 1: Rename backup.txt ke uploading.txt (agar data baru
    tetap bisa ditulis)
    if (SD.exists("/backup.txt") && !SD.exists("/uploading.txt")) {
      SD.rename("/backup.txt", "/uploading.txt");
    }
  }
}

```



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

        Serial.println("backup.txt di-rename ke uploading.txt untuk
recovery.");
    }

    // Langkah 2: Buka file uploading.txt
    if (SD.exists("/uploading.txt")) {
        uploadFile = SD.open("/uploading.txt", FILE_READ);
        if (uploadFile) {
            isUploadingSD = true;
            uploadedLines = 0;
            skippedToLine = 0;
            uploadRetryCount = 0;
            Serial.println("Mulai proses upload dari SD Card...");
            Serial.print("Ukuran file: ");
            Serial.print(uploadFile.size());
            Serial.println(" bytes");
        }
    }
}

if (isUploadingSD) {
    // Cek koneksi sebelum upload
    if (WiFi.status() != WL_CONNECTED || !Firebase.ready()) {
        // Internet putus di tengah upload - simpan posisi dan tutup
file
        // Baris yang belum diupload tetap aman di file
        Serial.print("Internet putus saat recovery. Baris terupload:
");
        Serial.println(uploadedLines);
        uploadFile.close();
        isUploadingSD = false;

        // PENTING: Jangan hapus uploading.txt!
        // File tetap ada, akan dilanjutkan saat internet kembali.
        // Data baru saat offline akan masuk ke backup.txt (file
baru).
        return;
    }

    if (uploadFile.available()) {
        String line = uploadFile.readStringUntil('\n');
        line.trim();

        if (line.length() > 0) {
            bool success = uploadSingleLineToFirebase(line);

            if (success) {

```



### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

uploadedLines++;
uploadRetryCount = 0; // Reset retry counter

// Progress report setiap 10 baris
if (uploadedLines % 10 == 0) {
    Serial.print("Progress recovery: ");
    Serial.print(uploadedLines);
    Serial.println(" baris terupload.");
}
} else {
    uploadRetryCount++;
    if (uploadRetryCount >= MAX_UPLOAD_RETRY) {
        // Sudah 3x gagal - simpan baris gagal ke
        failed_lines.txt
        Serial.print("Baris gagal setelah ");
        Serial.print(MAX_UPLOAD_RETRY);
        Serial.println("x retry, disimpan ke failed_lines.txt");

        File failFile = SD.open("/failed_lines.txt",
        FILE_APPEND);
        if (failFile) {
            failFile.println(line);
            failFile.close();
        }
        uploadRetryCount = 0;
        uploadedLines++; // Lanjut ke baris berikutnya
    } else {
        // Belum retry cukup - akan coba lagi di loop berikutnya
        // Kita perlu seek mundur ke posisi sebelum baris ini
        // Tapi karena readStringUntil sudah memajukan posisi,
        // simpan baris ini untuk retry di loop berikutnya
        Serial.print("Retry ke-");
        Serial.print(uploadRetryCount);
        Serial.print(" untuk baris: ");
        Serial.println(line.substring(0, 20) + "...");

        // Simpan baris gagal ke file sementara untuk retry
        File retryFile = SD.open("/retry_line.txt", FILE_WRITE);
        if (retryFile) {
            retryFile.println(line);
            retryFile.close();
        }
        return; // Keluar, coba lagi di loop berikutnya
    }
}
}
} else {

```



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
// Semua baris sudah diproses
uploadFile.close();
SD.remove("/uploading.txt");
SD.remove("/retry_line.txt"); // Bersihkan file retry jika ada
isUploadingSD = false;

Serial.println("=====");
Serial.print("Recovery SD Card SELESAI! Total baris: ");
Serial.println(uploadedLines);
Serial.println("=====");

// Cek apakah ada failed_lines yang perlu diperhatikan
if (SD.exists("/failed_lines.txt")) {
    Serial.println("[PERINGATAN] Ada baris yang gagal diupload
di failed_lines.txt");
}
}
}

void uploadSemuaDataFirebase() {
    if (Firebase.ready() && signupOK) {
        unsigned long timestamp = getTime();

        FirebaseJson jsonR, jsonS, jsonT, jsonTotal, jsonQoS;

        populatePhaseJson(&jsonR, "0x01", "R", V1, I1, P1, S1, Q1, E1,
status1, timestamp);
        populatePhaseJson(&jsonS, "0x02", "S", V2, I2, P2, S2, Q2, E2,
status2, timestamp);
        populatePhaseJson(&jsonT, "0x03", "T", V3, I3, P3, S3, Q3, E3,
status3, timestamp);

        // Populate Total
        jsonTotal.set("voltage_avg", V_avg);
        jsonTotal.set("current_total", I_total);
        jsonTotal.set("active_power_total", P_total);
        jsonTotal.set("apparent_power_total", S_total);
        jsonTotal.set("reactive_power_total", Q_total);
        jsonTotal.set("energy_total", E_total);
        jsonTotal.set("status", statusTotal);
        jsonTotal.set("timestamp", (double)timestamp);

        Serial.println("Memulai Upload Realtime & History ke
Firebase...");

        int successCount = 0;
```



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

int failCount = 0;
unsigned long startUpload = millis();

// --- REALTIME DATA (setJSON) ---
if(Firebase.RTDB.setJSON(&fbdo,
"/monitoring_listrik/realtime/R", &jsonR)) successCount++; else
failCount++;
if(Firebase.RTDB.setJSON(&fbdo,
"/monitoring_listrik/realtime/S", &jsonS)) successCount++; else
failCount++;
if(Firebase.RTDB.setJSON(&fbdo,
"/monitoring_listrik/realtime/T", &jsonT)) successCount++; else
failCount++;

// --- REQUEST UTAMA (Latency diukur khusus untuk node total
ini) ---
unsigned long startReq = millis();
bool totalOk = Firebase.RTDB.setJSON(&fbdo,
"/monitoring_listrik/realtime/total", &jsonTotal);
long reqLatency = millis() - startReq;
if(totalOk) successCount++; else failCount++;

// --- HISTORY DATA (pushJSON) ---
if(Firebase.RTDB.pushJSON(&fbdo,
"/monitoring_listrik/history/R", &jsonR)) successCount++; else
failCount++;
if(Firebase.RTDB.pushJSON(&fbdo,
"/monitoring_listrik/history/S", &jsonS)) successCount++; else
failCount++;
if(Firebase.RTDB.pushJSON(&fbdo,
"/monitoring_listrik/history/T", &jsonT)) successCount++; else
failCount++;
if(Firebase.RTDB.pushJSON(&fbdo,
"/monitoring_listrik/history/total", &jsonTotal)) successCount++;
else failCount++;

unsigned long totalRTT = millis() - startUpload;

// ===== KALKULASI QoS ACTUAL =====
totalRequests += (successCount + failCount);
failedRequests += failCount;

// 1. Packet Loss (%)
if (totalRequests > 0) {
  packetLoss = ((float)failedRequests / totalRequests) * 100.0;
}

```



#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
// 2. Latency / RTT (ms) - Diambil langsung dari durasi request
utama
latency = reqLatency;

// 3. Jitter (ms) -> Diukur menggunakan Variance / Standard
Deviation
latencyHistory[latencyIndex] = latency;
latencyIndex = (latencyIndex + 1) % QOS_HISTORY_SIZE;
if (latencyIndex == 0) latencyFilled = true;

int count = latencyFilled ? QOS_HISTORY_SIZE : latencyIndex;
if (count > 1) {
    // Hitung Mean (Rata-rata)
    long sum = 0;
    for (int i = 0; i < count; i++) {
        sum += latencyHistory[i];
    }
    float mean = (float)sum / count;

    // Hitung Variance
    float variance = 0;
    for (int i = 0; i < count; i++) {
        variance += pow(latencyHistory[i] - mean, 2);
    }
    variance = variance / count;

    // Jitter adalah akar dari variance (Standard Deviation)
    // Ini menjaga satuan Jitter tetap dalam (ms) bukan (ms
    kuadrat)
    jitter = sqrt(variance);
} else {
    jitter = 0;
}

// 4. Throughput (kbps)
// Asumsi ukuran payload = JSON length * 2 (set+push) + ~200
byte header HTTP per request (total 8 request = 1600 bytes header)
int payloadSize = (strlen(jsonR.raw()) * 2) +
(strlen(jsonS.raw()) * 2) + (strlen(jsonT.raw()) * 2) +
(strlen(jsonTotal.raw()) * 2) + 1600;
if (totalRTT > 0) {
    throughput = (float)(payloadSize * 8) / totalRTT; // (bits /
ms) sama dengan (kilo-bits / sec)
} else {
    throughput = 0;
}
```



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
// 5. Status Kualitas (Berdasarkan Standar TIPHON)
rssi = WiFi.RSSI(); // Tetap membaca RSSI untuk info

// Menentukan Index untuk masing-masing parameter
int idx_latency = (latency < 150) ? 4 : (latency < 300) ? 3 :
(latency < 450) ? 2 : 1;
int idx_jitter = (jitter == 0) ? 4 : (jitter <= 75) ? 3 :
(jitter <= 125) ? 2 : 1;
int idx_pl = (packetLoss == 0) ? 4 : (packetLoss <= 3) ? 3 :
(packetLoss <= 15) ? 2 : 1;

// Menghitung nilai rata-rata index (tanpa throughput karena di
IoT bandwidth tidak konstan)
float qos_index = (float)(idx_latency + idx_jitter + idx_pl) /
3.0;

// Klasifikasi akhir TIPHON
if (qos_index >= 3.0) {
    kualitas = "OPTIMAL"; // Mewakili Sangat Bagus & Bagus
} else if (qos_index >= 2.0) {
    kualitas = "CUKUP"; // Mewakili Sedang
} else {
    kualitas = "BURUK";
}

// Upload QoS metrics hasil kalkulasi
jsonQoS.set("rssi", rssi);
jsonQoS.set("latency", (double)latency);
jsonQoS.set("packet_loss", packetLoss);
jsonQoS.set("jitter", jitter);
jsonQoS.set("throughput", throughput);
jsonQoS.set("status_qos", kualitas);
jsonQoS.set("timestamp", (double)timestamp);

Firebase.RTDB.setJSON(&fbdo, "/monitoring_listrik/realtime/qos",
&jsonQoS);

Serial.println("Upload Firebase & QoS Selesai!");
}
}

// ===== SETUP =====
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    delay(1000);
    Serial.println("\n=== SISTEM MONITORING LISTRIK ===");
}
```



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
// 1. Inisialisasi UART untuk PZEM
SerialPZEM1.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17);
SerialPZEM_shared.begin(9600, SERIAL_8N1, 25, 33); // Mulai dengan
pin PZEM2
Serial.println("PZEM UART OK");

// 2. Inisialisasi SD Card TERLEBIH DAHULU (sebelum WiFi &
Firebase)
// WiFi & Firebase bisa mengganggu bus SPI jika diinisialisasi
dulu
Serial.println("Menginisialisasi SD Card...");
initSDCard();

// 3. Beri jeda sebelum WiFi
delay(1000);

// 4. Inisialisasi WiFi
setup_wifi();

// 5. Konfigurasi Firebase
config.api_key = API_KEY;
config.database_url = DATABASE_URL;

// Login menggunakan Email & Password khusus perangkat ESP32
// Anda harus membuat user ini terlebih dahulu di menu Manajemen
Akun di website atau di Firebase Console
auth.user.email = "firdausmabdi9@gmail.com"; // Ganti dengan email
untuk ESP32
auth.user.password = "abdi0125."; // Ganti dengan password
untuk ESP32

signupOK = true; // Set ke true karena autentikasi di-handle
otomatis oleh Firebase.begin

// Mulai koneksi Firebase
Firebase.begin(&config, &auth);
Firebase.reconnectWiFi(true);

lastMicros = micros();
Serial.println("=== SETUP SELESAI ===");
}

// ===== LOOP =====
void loop() {

static unsigned long lastWifiCheck = 0;
if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
```



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

if (millis() - lastWifiCheck >= 10000) {
    lastWifiCheck = millis();
    Serial.println("Koneksi WiFi terputus. Mencoba reconnect...");
    WiFi.reconnect();
}
}

// ===== SENSOR BERGANTIAN (NON-BLOCKING 2 DETIK) =====
if (millis() - lastRead >= 2000) {
    lastRead = millis();

    // --- BACA PZEM 1 (SELALU DIBACA) ---
    float v1 = pzem1.voltage();
    if (!isnan(v1)) V1 = v1;
    float i1 = pzem1.current();
    if (!isnan(i1)) I1 = i1;
    float p1 = pzem1.power();
    if (!isnan(p1)) P1 = p1;
    float e1 = pzem1.energy();
    if (!isnan(e1)) E1 = e1;

    S1 = V1 * I1;
    float tmp1 = (S1*S1)-(P1*P1);
    Q1 = sqrt(tmp1 < 0 ? 0 : tmp1);
    status1 = (I1 > 5) ? "OVERLOAD" : "NORMAL";

    // --- BACA PZEM 2 ATAU PZEM 3 BERGANTIAN ---
    // PZEM2 dan PZEM3 berbagi UART2 (satu HardwareSerial object).
    // Kita switch pin UART2 sebelum membaca sensor yang berbeda.
    if (toggleSensor == 0) {
        SerialPZEM_shared.end(); // Matikan dulu untuk switch pin
        SerialPZEM_shared.begin(9600, SERIAL_8N1, 25, 33); // Pin
PZEM2
        delay(100); // Waktu stabilisasi lebih lama
        float v2 = pzem2.voltage();
        if (!isnan(v2)) V2 = v2;
        float i2 = pzem2.current();
        if (!isnan(i2)) I2 = i2;
        float p2 = pzem2.power();
        if (!isnan(p2)) P2 = p2;
        float e2 = pzem2.energy();
        if (!isnan(e2)) E2 = e2;

        S2 = V2 * I2;
        float tmp2 = (S2*S2)-(P2*P2);
        Q2 = sqrt(tmp2 < 0 ? 0 : tmp2);
        status2 = (I2 > 5) ? "OVERLOAD" : "NORMAL";
    }
}

```



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

}
else if (toggleSensor == 1) {
    SerialPZEM_shared.end(); // Matikan dulu untuk switch pin
    SerialPZEM_shared.begin(9600, SERIAL_8N1, 26, 27); // Pin
PZEM3
    delay(100); // Waktu stabilisasi lebih lama
    float v3 = pzem3.voltage();
    if (!isnan(v3)) V3 = v3;
    float i3 = pzem3.current();
    if (!isnan(i3)) I3 = i3;
    float p3 = pzem3.power();
    if (!isnan(p3)) P3 = p3;
    float e3 = pzem3.energy();
    if (!isnan(e3)) E3 = e3;

    S3 = V3 * I3;
    float tmp3 = (S3*S3)-(P3*P3);
    Q3 = sqrt(tmp3 < 0 ? 0 : tmp3);
    status3 = (I3 > 5) ? "OVERLOAD" : "NORMAL";
}

// Pindah toggle
toggleSensor = (toggleSensor + 1) % 2;

// --- KALKULASI TOTAL ---
V_avg = (V1 + V2 + V3) / 3.0;
I_total = I1 + I2 + I3;
P_total = P1 + P2 + P3;
S_total = S1 + S2 + S3;
Q_total = Q1 + Q2 + Q3;
E_total = E1 + E2 + E3;
statusTotal = (I_total > 12.3) ? "OVERLOAD" : "NORMAL";

// ===== OUTPUT SERIAL =====
Serial.println("===== SISTEM UPDATE =====");
Serial.print("Toggle Posisi: "); Serial.println(toggleSensor ==
1 ? "PZEM1 & PZEM2" : "PZEM1 & PZEM3");

    Serial.print("V1: "); Serial.print(V1); Serial.print(" V | V2:
"); Serial.print(V2); Serial.print(" V | V3: "); Serial.print(V3);
Serial.println(" V");
    Serial.print("I1: "); Serial.print(I1); Serial.print(" A | I2:
"); Serial.print(I2); Serial.print(" A | I3: "); Serial.print(I3);
Serial.println(" A");

    Serial.print("Tegangan Avg: "); Serial.print(V_avg);
Serial.println(" V");

```



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

    Serial.print("Arus Total: "); Serial.print(I_total);
    Serial.println(" A");
    Serial.print("Daya Aktif Total: "); Serial.print(P_total);
    Serial.println(" W");

    Serial.println("===== QoS =====");
    Serial.print("Kualitas Jaringan: "); Serial.println(kualitas);
    Serial.println("=====");
  }

  // ===== ENERGI MANUAL =====
  unsigned long nowMicros = micros();
  double dt = (nowMicros - lastMicros)/3600000000.0;
  lastMicros = nowMicros;

  if (dt > 0 && dt < 0.01) {
    energiManual1 += (P1/1000.0)*dt;
    energiManual2 += (P2/1000.0)*dt;
    energiManual3 += (P3/1000.0)*dt;
  }

  // ===== PING QoS MOCK LAMA TELAH DIHAPUS =====
  // Perhitungan QoS sekarang dilakukan secara nyata di dalam fungsi
  uploadSemuaDataFirebase()

  // ===== RETRY SD CARD JIKA AWALNYA GAGAL =====
  if (!sdOK && (millis() - lastSDRetry >= sdRetryInterval)) {
    lastSDRetry = millis();
    Serial.println("Mencoba ulang inisialisasi SD Card...");
    initSDCard();
  }

  // ===== UPLOAD DATA KE DATABASE ATAU BACKUP SD CARD =====
  if (millis() - lastUpload >= uploadInterval) {
    lastUpload = millis();
    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED && Firebase.ready() &&
        signupOK) {
      Serial.println("===== UPLOAD SERVER =====");
      uploadSemuaDataFirebase();
      // Cek apakah ada data backup di SD yang perlu diupload
      checkAndUploadSD();
    } else {
      Serial.println("===== BACKUP SD CARD =====");
      simpanKeSDCard();
    }
  }
}

```



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

```
// ===== PROSES RECOVERY SD CARD (satu baris per loop cycle) =====  
if (isUploadingSD) {  
    checkAndUploadSD();  
}  
}
```



### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta