



© 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



**SISTEM MONITORING DUAL-ACCESS PLTMH SIPHON  
BERBASIS EDGE SERVER MENGGUNAKAN JARINGAN  
LAN DAN CLOUDFLARE TUNNEL**

**TUGAS AKHIR**

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**

**Haikal Santriano  
2203411024**

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI LISTRIK INDUSTRI**

**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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**SISTEM MONITORING DUAL-ACCESS PLTMH SIPHON  
BERBASIS EDGE SERVER MENGGUNAKAN JARINGAN  
LAN DAN CLOUDFLARE TUNNEL**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Diploma  
Tiga/Sarjana Terapan/Magsiter Terapan**

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**

**Haikal Santriano**

**2203411024**

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI LISTRIK INDUSTRI**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

**2026**



## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Haikal Santriano

NIM : 2203411024

Tanda Tangan : 

Tanggal : 17 Februari 2026

**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



## LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir diajukan oleh :  
Nama : Haikal Santriano  
NIM : 2203411024  
Program Studi : Teknik Otomasi Listrik Industri  
Judul Tugas Akhir : Sistem Monitoring Dual-Access PLTMH Siphon  
Berbasis Edge Server Menggunakan Jaringan LAN dan  
Cloudflare Tunnel

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Tugas Akhir pada hari Kamis, 2 Juli 2026 dan dinyatakan **LULUS**.

Pembimbing I : Nagib Muhammad, S.T. M.T.  
NIP. 199406052022031007

()

Pembimbing II : Arum Kusuma Wardhany, S.T.,  
M.T.  
NIP. 199107132020122013

()

Depok, 9 Juli 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 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

## KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas segala berkat, rahmat, dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini dengan baik. Penulisan Tugas Akhir yang berjudul “Sistem Monitoring Dual-Access PLTMH Siphon Berbasis Edge Server Menggunakan Jaringan LAN dan Cloudflare Tunnel” ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat akademik untuk mencapai gelar Sarjana Terapan di Politeknik Negeri Jakarta.

Skripsi ini berfokus pada perancangan dan implementasi infrastruktur pemantauan *dual-access* berbasis *edge server* untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) tipe *siphon*. Penelitian ini mendayagunakan komputer papan tunggal Raspberry Pi 3B+ yang dikonfigurasi secara *native deployment* untuk menjalankan tumpukan perangkat lunak telemetri yang meliputi Node-RED, InfluxDB, dan Grafana. Arsitektur ini secara mutlak memecahkan kerentanan kehilangan data (*data loss*) dengan mengakuisisi metrik sensor secara persisten via komunikasi serial dan kueri Modbus RTU langsung ke dalam pangkalan data lokal. Lebih lanjut, sistem ini berhasil memfasilitasi antarmuka pemantauan jarak jauh yang aman memintas jaringan CGNAT menggunakan *Cloudflare Tunnel*, sekaligus mengakomodasi pemantauan lokal berlatensi rendah melalui jaringan WLAN/LAN di lokasi pembangkit.

Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tugas akhir ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Nagib Muhammad, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I dan Ibu Arum Kusuma Wardhany S.T., M.T., selaku dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tugas akhir ini;
2. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Listrik dan Teknik Otomasi Listrik Induksi Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan ilmu pengetahuan, wawasan, keahlian dan pengalaman yang sangat berharga bagi penulis selama menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Elektro, Program studi Teknik Otomasi Listrik Industri;
3. Orang tua serta keluarga penulis dan teman yang telah memberikan bantuan, dukungan material, maupun moral; dan



## © 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

4. Rekan satu tim dan teman-teman seperjuangan yang telah banyak membantu, baik dalam berbagi ilmu, merancang alat, maupun memberikan dukungan untuk menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna akibat keterbatasan pengalaman maupun literatur yang dimiliki. Oleh karena itu, segala bentuk kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan karya ini di masa mendatang.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 19 Juni 2026

Haikal Santriano

**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

Sistem Monitoring *Dual-Access* PLTMH Siphon Berbasis Edge Server  
Menggunakan Jaringan LAN dan *Cloudflare Tunnel*

**Abstrak**

Pemantauan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) berbasis Internet of Things (IoT) konvensional yang bergantung penuh pada peladen awan rentan mengalami kehilangan rekam data (data loss) saat koneksi internet di lokasi terputus. Untuk memecahkan masalah tersebut, penelitian ini merancang infrastruktur edge server pada PLTMH tipe siphon menggunakan Raspberry Pi 3B+ dengan sistem akses ganda (dual-access). Sistem ini mengintegrasikan perangkat lunak Node-RED, InfluxDB, Grafana, dan Cloudflare Tunnel. Data diakuisisi dari MPPT, modul PZEM-017, dan sensor Hall Effect berbasis ESP32. Hasil pengujian menunjukkan akuisisi data bekerja presisi dengan galat rata-rata seluruh parameter berada di bawah batas toleransi industri ( $< 5\%$ ). Pengujian tingkat keberhasilan transmisi data lokal membuktikan bahwa interval pengiriman 1 menit merupakan konfigurasi paling optimal dengan tingkat keberhasilan absolut 100%, mengeliminasi risiko bottleneck antarmuka yang sempat terjadi pada interval padat 1 detik. Sistem juga terbukti andal dengan kemampuan pemulihan otomatis (auto-recovery) pasca-pemadaman paksa dalam waktu rata-rata 1 menit 18 detik, serta simulasi pemutusan internet selama 30 menit membuktikan bahwa penyimpanan lokal secara mutlak mencegah data loss (0% jeda kosong). Pengujian stabilitas akses ganda mencapai keberhasilan 100% dengan waktu muat 3,03 detik via WLAN lokal dan 4,57 detik via internet global. Infrastruktur komputasi tepi ini secara empiris berhasil menjamin kontinuitas pemantauan pembangkit yang persisten, tangguh, dan aman.

**Kata Kunci:** Cloudflare Tunnel, Data Loss, Edge Computing, InfluxDB, PLTMH Siphon.



**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

*Edge Server-Based Dual-Access Monitoring System for Siphon Micro Hydro Power Plant Using LAN and Cloudflare Tunnel*

**Abstract**

*Conventional Internet of Things (IoT)-based monitoring for Micro Hydro Power Plants (MHP) that relies entirely on cloud servers is highly vulnerable to data loss when the local internet connection is disrupted. To resolve these issues, this research designs an edge server infrastructure for a siphon-type MHP using a Raspberry Pi 3B+ equipped with a dual-access system. The system integrates a software stack comprising Node-RED, InfluxDB, Grafana, and Cloudflare Tunnel. Data is acquired from an MPPT solar charge controller, a PZEM-017 module, and an ESP32-based Hall Effect sensor. Test results demonstrate highly precise data acquisition, with the average error across all parameters falling below the industrial tolerance limit ( $< 5\%$ ). Local transmission reliability testing confirms that a 1-minute polling interval is the most optimal configuration, achieving a 100% success rate and eliminating interface bottleneck issues encountered at higher sampling rates. The system proves reliable with its auto-recovery capability following a hard reset, recording an average recovery time of 1 minute and 18 seconds. A 30-minute internet disconnection simulation confirms that the local storage mechanism effectively prevents data loss, resulting in zero data gaps. Dual-access stability testing achieved a 100% success rate, with dashboard load times of 3.03 seconds via the local WLAN and 4.57 seconds via the global internet. Ultimately, this edge computing infrastructure successfully guarantees persistent, robust, and secure continuity for power plant monitoring.*

**Keywords:** *Cloudflare Tunnel, Data Loss, Edge Computing, InfluxDB, Siphon Micro-Hydro Power.*



## DAFTAR ISI

|                                                                               |      |
|-------------------------------------------------------------------------------|------|
| HALAMAN SAMPUL .....                                                          | i    |
| HALAMAN JUDUL .....                                                           | ii   |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....                                          | iii  |
| LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR .....                                           | iv   |
| KATA PENGANTAR .....                                                          | v    |
| Abstrak.....                                                                  | vii  |
| Abstract.....                                                                 | viii |
| DAFTAR ISI.....                                                               | ix   |
| DAFTAR GAMBAR.....                                                            | xii  |
| DAFTAR TABEL.....                                                             | xiv  |
| BAB I PENDAHULUAN.....                                                        | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....                                                      | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                                                      | 3    |
| 1.3 Tujuan .....                                                              | 4    |
| 1.4 Luaran .....                                                              | 4    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....                                                 | 6    |
| 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).....                         | 6    |
| 2.1.1 Definisi dan Prinsip Kerja PLTMH .....                                  | 6    |
| 2.1.2 Turbin <i>Propeller</i> .....                                           | 6    |
| 2.1.3 Motor BLDC sebagai Generator AC Tiga Fase .....                         | 6    |
| 2.1.4 Daya Keluaran Listrik Arus Searah (DC) .....                            | 8    |
| 2.2 Konsep Monitoring Telemetry pada Pembangkit Listrik.....                  | 8    |
| 2.2.1 Definisi Sistem Monitoring (Pemantauan).....                            | 8    |
| 2.2.2 Peranan Internet of Things (IoT) Industri .....                         | 9    |
| 2.2.3 Batasan Arsitektur Berbasis Awan ( <i>Cloud-only</i> ) .....            | 9    |
| 2.2.4 Kriteria Sistem Monitoring yang Baik .....                              | 10   |
| 2.3 Arsitektur Edge Computing (Komputasi Tepi).....                           | 11   |
| 2.3.1 Definisi dan Keunggulan <i>Edge Computing</i> .....                     | 11   |
| 2.3.2 Single Board Computer (SBC) Raspberry Pi.....                           | 13   |
| 2.4 Perangkat Keras dan Antarmuka Komunikasi Kabel Serial .....               | 14   |
| 2.4.1 Mikrokontroler ESP32 sebagai Pengendali Otomasi .....                   | 14   |
| 2.4.2 Maximum Power Point Tracking (MPPT) Charge Controller .....             | 15   |
| 2.4.3 Instrumen Pengukuran Kecepatan Putar (Sensor <i>Hall Effect</i> ) ..... | 17   |
| 2.4.4 Modul PZEM-017 sebagai Sensor Beban DC.....                             | 18   |
| 2.4.5 Modul Konversi Sinyal Logika (RS-485 ke TTL) .....                      | 19   |
| 2.4.6 Transmisi Universal Serial Bus (USB) .....                              | 20   |

### 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 mengemukakan 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

|                                        |                                                                                          |    |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4.7                                  | Standar Komunikasi RS-485 dan Protokol Modbus RTU .....                                  | 20 |
| 2.5                                    | Tumpukan Perangkat Lunak Peladen (Telemetry Software Stack) .....                        | 22 |
| 2.5.1                                  | Node-RED sebagai <i>Middleware</i> Integrasi.....                                        | 22 |
| 2.5.2                                  | Basis Data Deret Waktu ( <i>Time-Series Database</i> ) InfluxDB.....                     | 23 |
| 2.5.3                                  | Grafana sebagai Mesin Visualisasi .....                                                  | 23 |
| 2.6                                    | Infrastruktur Jaringan dan Aksesibilitas Ganda (Dual-Access) .....                       | 24 |
| 2.6.1                                  | Topologi <i>Wireless Local Area Network</i> (WLAN) pada Perute 4G LTE.....               | 24 |
| 2.6.2                                  | Konsep Terowongan Enkripsi ( <i>Cloudflare Tunnel</i> ).....                             | 25 |
| 2.7                                    | Kajian Penelitian Terdahulu ( <i>State of the Art</i> ).....                             | 26 |
| BAB III PERENCANAAN DAN REALISASI..... |                                                                                          | 28 |
| 3.1                                    | Rancangan Alat.....                                                                      | 28 |
| 3.1.1                                  | Deskripsi Alat.....                                                                      | 36 |
| 3.1.2                                  | Cara Kerja Alat .....                                                                    | 37 |
| 3.1.3                                  | Spesifikasi Alat .....                                                                   | 42 |
| 3.1.4                                  | Diagram Blok .....                                                                       | 49 |
| 3.1.5                                  | Pengkabelan ( <i>Wiring</i> ).....                                                       | 51 |
| 3.2                                    | Realisasi Alat .....                                                                     | 53 |
| 3.2.1                                  | Konfigurasi Sistem Operasi dan Perangkat Lunak Peladen Tepi ( <i>Edge Server</i> )<br>57 |    |
| 3.2.2                                  | Konfigurasi <i>Middleware</i> Node-RED .....                                             | 59 |
| 3.2.3                                  | Konfigurasi Basis Data InfluxDB Lokal.....                                               | 63 |
| 3.2.4                                  | Konfigurasi Integrasi dan Visualisasi Grafana.....                                       | 64 |
| 3.2.5                                  | Hasil Visualisasi Antarmuka Dasbor ( <i>Grafana Dashboard</i> ) .....                    | 68 |
| 3.2.6                                  | Konfigurasi Akses Ganda dan <i>Cloudflare Tunnel</i> .....                               | 73 |
| BAB IV PEMBAHASAN.....                 |                                                                                          | 75 |
| 4.1                                    | Pengujian Validasi Sensor Beban DC (PZEM-017) .....                                      | 75 |
| 4.1.1                                  | Deskripsi Pengujian .....                                                                | 75 |
| 4.1.2                                  | Prosedur Pengujian.....                                                                  | 75 |
| 4.1.3                                  | Hasil Pengujian .....                                                                    | 76 |
| 4.1.4                                  | Analisis Data dan Evaluasi.....                                                          | 78 |
| 4.2                                    | Pengujian Akurasi Kecepatan Putar Turbin (Sensor <i>Hall Effect</i> ) .....              | 79 |
| 4.2.1                                  | Deskripsi Pengujian .....                                                                | 79 |
| 4.2.2                                  | Prosedur Pengujian.....                                                                  | 79 |
| 4.2.3                                  | Hasil Pengujian .....                                                                    | 80 |
| 4.2.4                                  | Analisis Data dan Evaluasi.....                                                          | 81 |
| 4.3                                    | Pengujian Akurasi Data <i>MPPT Charge Controller</i> .....                               | 81 |
| 4.3.1                                  | Deskripsi Pengujian .....                                                                | 81 |
| 4.3.2                                  | Prosedur Pengujian.....                                                                  | 82 |



## © 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

|                              |                                                                                           |       |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 4.3.3                        | Hasil Pengujian .....                                                                     | 83    |
| 4.3.4                        | Analisis Data dan Evaluasi.....                                                           | 85    |
| 4.4                          | Evaluasi Keandalan Infrastruktur <i>Edge Server</i> dan Pencegahan <i>Data Loss</i> ..... | 86    |
| 4.4.1                        | Deskripsi Pengujian .....                                                                 | 87    |
| 4.4.2                        | Prosedur Pengujian.....                                                                   | 87    |
| 4.4.3                        | Hasil Pengujian .....                                                                     | 88    |
| 4.4.4                        | Analisis Data dan Evaluasi.....                                                           | 90    |
| 4.5                          | Pengujian Tingkat Keberhasilan Transmisi Data.....                                        | 91    |
| 4.5.1                        | Deskripsi Pengujian .....                                                                 | 91    |
| 4.5.2                        | Prosedur Pengujian.....                                                                   | 91    |
| 4.5.3                        | Hasil Pengujian .....                                                                     | 92    |
| 4.5.4                        | Analisis Data dan Evaluasi.....                                                           | 93    |
| 4.6                          | Evaluasi Aksesibilitas Jarak Jauh ( <i>Cloudflare Tunnel</i> ).....                       | 94    |
| 4.6.1                        | Deksripsi Pengujian .....                                                                 | 95    |
| 4.6.2                        | Prosedur Pengujian.....                                                                   | 95    |
| 4.6.3                        | Hasil Pengujian .....                                                                     | 96    |
| 4.6.4                        | Analisis Data .....                                                                       | 97    |
| BAB V                        | PENUTUP .....                                                                             | 99    |
| 5.1                          | Kesimpulan .....                                                                          | 99    |
| 5.2                          | Saran.....                                                                                | 100   |
| DAFTAR PUSTAKA               | .....                                                                                     | xv    |
| DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS | .....                                                                                     | xviii |
| LAMPIRAN                     | .....                                                                                     | xix   |

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**

## DAFTAR GAMBAR

|             |                                                                                     |    |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1  | Arsitektur Arus Data Cloud Computing.....                                           | 12 |
| Gambar 2.2  | Arsitektur Arus Data Edge Computing .....                                           | 12 |
| Gambar 2.3  | Spesifikasi Perangkat Keras Raspberry Pi 3 Model B+ .....                           | 13 |
| Gambar 2.4  | Kurva Karakteristik Maximum Power Point Tracking .....                              | 15 |
| Gambar 2.5  | Porta Antarmuka Komunikasi RS-485 pada MPPT Charge Controller Seri EPEVER XTRA..... | 16 |
| Gambar 2.6  | Gambar Modul PZEM-017 .....                                                         | 18 |
| Gambar 2.7  | Konfigurasi Pin Modul Transceiver Konverter RS-485 ke TTL .....                     | 19 |
| Gambar 2.8  | Topologi Komunikasi Master-Slave pada Modbus.....                                   | 21 |
| Gambar 2.9  | Antarmuka Pemrograman Berbasis Aliran pada Node-RED .....                           | 22 |
| Gambar 2.10 | Representasi Visualisasi pada Grafana .....                                         | 24 |
| Gambar 2.11 | Mekanisme Koneksi Outbound pada Cloudflare Tunnel .....                             | 26 |
| Gambar 3.1  | Desain 3D PLTMH Siphon Tampak Isometris .....                                       | 28 |
| Gambar 3.2  | Lokasi Pemasangan PLTMH Siphon di Danau Salam UI .....                              | 29 |
| Gambar 3.3  | Gambar Bendungan yang Telah Ada di Danau Salam UI.....                              | 29 |
| Gambar 3.4  | Desain 3D PLTMH Siphon Tampak Samping (Side View) .....                             | 30 |
| Gambar 3.5  | Desain 3D PLTMH Siphon Tampak Depan (Front View).....                               | 31 |
| Gambar 3.6  | Diagram Rancangan Sistem Perpipaan PLTMH tipe Siphon .....                          | 31 |
| Gambar 3.8  | Diagram Pipa Liquid Separator Tank.....                                             | 32 |
| Gambar 3.9  | Diagram Pipa Venting.....                                                           | 33 |
| Gambar 3.10 | Panel Tampak Depan dan Samping .....                                                | 34 |
| Gambar 3.11 | Tata Letak Komponen Panel.....                                                      | 35 |
| Gambar 3.12 | Pemilihan Mode .....                                                                | 38 |
| Gambar 3.13 | Flowchart Cara Kerja Mode Manual.....                                               | 39 |
| Gambar 3.14 | Flowchart Cara Kerja Auto .....                                                     | 40 |
| Gambar 3.15 | Flowchart Cara Kerja Gangguan.....                                                  | 42 |
| Gambar 3.16 | Diagram Blok Arsitektur Sistem PLTMH Siphon dan Telemetri Akses Ganda .....         | 49 |
| Gambar 3.17 | Wiring Diagram Sistem Kontrol .....                                                 | 52 |
| Gambar 3.18 | Wiring Diagram Sistem Pembangkitan Daya .....                                       | 52 |
| Gambar 3.19 | Wiring Diagram Relay Kontrol.....                                                   | 53 |
| Gambar 3.20 | Gambar Fisik PLTMH Siphon yang Telah Dipasang .....                                 | 54 |
| Gambar 3.21 | Gambar Fisik Panel Kontrol PLTMH Siphon Beserta Isinya .....                        | 55 |
| Gambar 3.22 | Realisasi Fisik Panel Edge Server dan Pengkabelan Komunikasi Serial ....            | 56 |

### 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

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 3.23 Arsitektur Sistem Monitoring PLTMH Siphon.....                                                               | 57 |
| Gambar 3.24 Instalasi Pustaka Tambahan Melalui Menu Manage Pallette.....                                                 | 60 |
| Gambar 3.25 Pengaturan Node Serial In pada Node-RED .....                                                                | 61 |
| Gambar 3.26 Konfigurasi Peladen MPPT untuk Node Modbus-Read pada Node-RED..                                              | 62 |
| Gambar 3.27 Konfigurasi Node Modus-Read untuk Parameter Tegangan dan Arus Baterai pada Node-RED .....                    | 62 |
| Gambar 3.28 Konfigurasi Peladen Influxdb pada Node-RED.....                                                              | 63 |
| Gambar 3.29 Konfigurasi Node Influxdb Out pada Node-RED.....                                                             | 63 |
| Gambar 3.30 Tampilan Eksekusi Perintah Pembuatan Pangkalan Data <b>pltmh_siphon</b> pada Terminal InfluxDB .....         | 64 |
| Gambar 3.31 Konfigurasi Data Sumber InfluxDB pada antarmuka Grafana .....                                                | 65 |
| Gambar 3.32 Tampilan Konfirmasi Keberhasilan Integrasi Sumber Data InfluxDB pada Antarmuka Grafana.....                  | 66 |
| Gambar 3.33 Implementasi Kueri Pangkalan Data dan Fungsi Agregasi pada Panel Dasbor Daya Generator .....                 | 67 |
| Gambar 3.34 Tampilan Panel Ikhtisar (Overview) Parameter Kelistrikan dan Mekanis PLTMH.....                              | 69 |
| Gambar 3.35 Tampilan Grafik Riwayat Fluktuasi Daya Generator dan Beban.....                                              | 69 |
| Gambar 3.36 Tampilan Grafik Riwayat Fluktuasi Tegangan Generator, Beban, dan Baterai .....                               | 70 |
| Gambar 3.37 Tampilan Grafik Riwayat Fluktuasi Arus Generator, Beban, dan Baterai..                                       | 71 |
| Gambar 3.38 Tampilan Grafik Riwayat Persentase Kapasitas Baterai (State of Charge)                                       | 72 |
| Gambar 3.39 Tampilan Grafik Riwayat Kecepatan Putaran Poros Turbin Generator (RPM) .....                                 | 72 |
| Gambar 3.40 Struktur Konfigurasi Perutean Layanan Lokal pada Berkas <b>config.yml</b>                                    | 74 |
| Gambar 4.1 Tampilan Galat Cloudflare Tunnel pada Akses Domain Publik saat Pemutusan Koneksi Internet.....                | 89 |
| Gambar 4.2 Tampilan Grafik Riwayat Data Persisten Pasca-Pemulihan Koneksi Internet (Diakses melalui Domain Publik) ..... | 90 |
| Gambar 4.3 Tampilan Akses Dashboard melalui Jaringan Lokal.....                                                          | 96 |
| Gambar 4.4 Tampilan Akses Dashboard melalui Cloudflare Tunnel .....                                                      | 96 |



**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

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 Daftar Alamat Input Registers Modbus RTU pada Charge Controller MPPT .                                 | 17 |
| Tabel 3.1 Spesifikasi Alat .....                                                                                 | 43 |
| Tabel 3.2 Parameter Penguncian Porta Serial Persisten (Udev Rules) Peladen Tepi .....                            | 59 |
| Tabel 4.1 Hasil Komparasi Pengujian Akurasi Tegangan Beban pada Sensor PZEM-017 .....                            | 76 |
| Tabel 4.2 Hasil Komparasi Pengujian Akurasi Arus Beban pada Sensor PZEM-017.....                                 | 77 |
| Tabel 4.3 Hasil Komparasi Pengujian Akurasi Daya Beban pada Sensor PZEM-017 .....                                | 77 |
| Tabel 4.4 Data Hasil Komparasi Pengujian Akurasi RPM antara Instrumen Referensi dan Sistem Telemetry .....       | 80 |
| Tabel 4.5 Hasil Pengujian Komparasi Akurasi Tegangan Generator pada MPPT .....                                   | 83 |
| Tabel 4.6 Hasil Pengujian Komparasi Akurasi Arus Generator pada MPPT .....                                       | 84 |
| Tabel 4.7 Hasil Pengujian Komparasi Akurasi Tegangan Baterai pada MPPT .....                                     | 84 |
| Tabel 4.8 Hasil Pengujian Komparasi Akurasi Arus Charging Baterai pada MPPT .....                                | 84 |
| Tabel 4.9 Hasil Pengujian Komparasi Akurasi Daya Generator pada MPPT.....                                        | 85 |
| Tabel 4.10 Hasil Pengujian Waktu Pemulihan Operasional (Auto-Recovery) Menggunakan Metode Observasi Visual ..... | 88 |
| Tabel 4.11 Tingkat Keberhasilan Transmisi Data pada Jalur Mikrokontroler ESP32 .....                             | 93 |
| Tabel 4.11 Tingkat Keberhasilan Transmisi Data pada Jalur MPPT Charge Controller ..                              | 93 |
| Tabel 4.11 Komparasi Waktu Muat Dashboard Grafana dan Stabilitas Jaringan.....                                   | 97 |

**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 I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Transisi menuju Energi Baru Terbarukan (EBT) telah menjadi prioritas strategis global maupun nasional guna mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menekan emisi gas rumah kaca. Di Indonesia, pemerintah telah menetapkan target bauran EBT nasional mencapai 23% pada tahun 2025 (Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), 2021). Dalam konteks geografis Indonesia yang terdiri dari banyak kawasan pedesaan terpencil dengan akses jaringan listrik utama yang terbatas, Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) berkapasitas di bawah 100 kW menjadi salah satu solusi elektrifikasi yang paling menjanjikan (Okot, 2013). Teknologi ini dinilai sangat ideal karena beroperasi secara *run-of-river* (ROR) memanfaatkan aliran sungai yang ada, sehingga lebih ramah lingkungan tanpa memerlukan konstruksi waduk penyimpanan berskala masif (Hydromax Energy Limited, 2010). Namun, pada area topografi dengan elevasi jatuh air yang rendah (*low head*), implementasi PLTMH konvensional sering kali terhambat oleh tingginya biaya investasi pekerjaan sipil. Pembangunan ini umumnya mengharuskan pembobolan bendungan untuk pembuatan saluran pembawa (*penstock*) atau pengalihan aliran air secara besar-besaran (Martinez, et al., 2018).

Teknologi PLTMH tipe *siphon* (sifon) menawarkan solusi rekayasa mekanik yang adaptif terhadap tantangan topografi tersebut, sekaligus menjadi alternatif implementasi yang jauh lebih ekonomis. Sistem ini bekerja dengan mengalirkan air dari penampungan atas menuju penampungan bawah melalui pipa yang membentang melompati bagian atas bendungan, sehingga dapat dipasang secara langsung (*retrofitted*) pada struktur eksisting (Zhou, et al., 2019). Desain perutean pipa yang melompati puncak penghalang ini mampu menjaga integritas struktural bendung, memangkas biaya ekskavasi secara drastis, serta secara efektif mengeliminasi kebutuhan katup masuk bawah air (*submerged inlet valve*) yang rentan mengalami kegagalan mekanis (IOZE hydro, 2022) (NWG, 2024).

Keberlanjutan operasional PLTMH tipe *siphon* tidak hanya bergantung pada keandalan rekayasa mekanis, tetapi juga menuntut adanya sistem pemantauan telemetri (mekanis dan kelistrikan) yang presisi. Saat ini, tren akuisisi data dalam sistem pemantauan pembangkit listrik didominasi oleh arsitektur *Internet of Things* (IoT) berbasis komputasi awan (*cloud-only architecture*). Sayangnya, arsitektur yang sangat bergantung pada



## © 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

peladen eksternal ini memiliki kerentanan tinggi terhadap latensi dan berpotensi memicu hilangnya riwayat data operasional secara permanen (*data loss*). Risiko ini menjadi sangat nyata apabila sistem diterapkan di wilayah operasional pembangkit terpencil yang sering kali memiliki konektivitas jaringan seluler yang sangat fluktuatif (Shi, et al., 2016). Kegagalan transmisi dan perekaman data ini akan berakibat fatal pada hilangnya visibilitas kontrol serta tidak validnya analisis performa efisiensi pembangkit.

Paradigma arsitektur IoT perlu digeser dari komputasi awan menuju *Edge Computing* (komputasi tepi) untuk mengatasi permasalahan integritas data dan mengelola heterogenitas protokol komunikasi di lapangan. Pendekatan *Edge Computing* memungkinkan proses agregasi, penerjemahan, dan penyimpanan data dieksekusi secara lokal di lokasi terdekat dengan sumber data, tanpa harus menunggu respons dari peladen internet (Mach & Becvar, 2017). Penelitian ini menggunakan komputer papan tunggal Raspberry Pi sebagai *Edge Server*. Penggunaan Raspberry Pi dalam arsitektur telemetri industri terbukti tangguh untuk menjalankan beban komputasi tingkat menengah secara serentak dan stabil (Zare & Iqbal, 2020). Seluruh layanan perangkat lunak telemetri diinstalasi secara langsung pada sistem operasi induk (*bare-metal deployment*) dan dikelola secara terpusat oleh manajer sistem dan layanan **systemd** dari lingkungan operasi Linux, guna menjamin efisiensi alokasi sumber daya perangkat keras tanpa adanya beban komputasi (*overhead*) dari sistem virtualisasi (Maksimović, et al., 2014).

Sistem akuisisi data pada infrastruktur ini dirancang menggunakan dua jalur komunikasi kabel serial (*wired serial communication*) untuk menjamin keandalan transmisi di lingkungan pembangkit yang sarat akan interferensi elektromagnetik. Pembacaan parameter kelistrikan dari *MPPT Charge Controller* dieksekusi menggunakan protokol Modbus RTU melalui antarmuka RS-485. Standar RS-485 dipilih karena sistem transmisi diferensialnya terbukti memiliki kekebalan yang sangat tinggi terhadap gangguan derau (*noise immunity*). Sementara itu, parameter mekanis turbin (seperti RPM) dan status otomasi fluida yang diproses oleh mikrokontroler ESP32 ditransmisikan menuju Raspberry Pi menggunakan antarmuka porta serial fisik (mikro-USB ke USB). Penggunaan transmisi kabel secara menyeluruh pada tingkat *node* sensor ini diterapkan untuk menghindari konflik alokasi pin internal pada modul frekuensi nirkabel mikrokontroler, sekaligus menjamin kontinuitas aliran paket data berfrekuensi tinggi tanpa terpengaruh oleh instabilitas jaringan Wi-Fi di lapangan.



#### 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

Aliran data (*data flow*) dari kedua jalur serial tersebut diagregasi dan diterjemahkan secara *real-time* oleh perangkat lunak *middleware* Node-RED (Lekić & Gardašević, 2018). Data yang telah melalui proses *parsing* dan standardisasi ini kemudian disimpan secara persisten di dalam InfluxDB, sebuah basis data deret waktu (*time-series database*) yang dioptimalkan khusus untuk menangani penulisan data metrik sensor berskala tinggi tanpa menyebabkan lonjakan pemakaian memori lokal (Jensen, et al., 2017). Analitik dari kumpulan data tersebut selanjutnya divisualisasikan menjadi *dashboard* interaktif melalui platform Grafana (Chakraborty & Kundan, 2021).

Infrastruktur Jaringan Area Lokal (LAN) pada sistem pemantauan ini difasilitasi oleh perute (*router*) 4G LTE DWR-M910 yang bertindak sebagai *backhaul* internet eksternal sekaligus titik akses bagi operator di lapangan. Mengingat penyedia layanan seluler komersial (ISP) menerapkan arsitektur *Carrier-Grade NAT* (CGNAT) yang meniadakan alokasi alamat IP Publik statis, perutean jarak jauh konvensional menggunakan metode *Port Forwarding* tidak dapat dilakukan. Untuk menjembatani hal ini, sistem mengimplementasikan teknologi *Cloudflare Tunnel*. Teknologi ini menginisiasi koneksi proaktif satu arah dari dalam ke luar (*outbound-only*) yang tersandi dari *Edge Server* menuju jaringan global peladen Cloudflare (Cloudflare, 2026). Melalui mekanisme ini, *dashboard* Grafana dapat diakses secara *real-time* dari jarak jauh dengan tingkat keamanan tinggi, tanpa pernah mengekspos jaringan area lokal pembangkit terhadap ancaman pemindaian siber eksternal.

Permasalahan infrastruktur hidromekanik *low head* serta urgensi mitigasi hilangnya riwayat telemetri akibat keterbatasan jaringan komputasi awan (*cloud*) di pedesaan menuntut adanya pembaruan arsitektur sistem pemantauan yang otonom. Merespons kebutuhan tersebut, penelitian tugas akhir ini mengusulkan implementasi sistem akuisisi data dan kendali yang andal dengan mengangkat judul: "**Sistem Monitoring Dual-Access PLTMH Siphon Berbasis Edge Server Menggunakan Jaringan LAN dan Cloudflare Tunnel**".

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Sejauh mana tingkat presisi dan akurasi instrumen akuisisi data, meliputi parameter kelistrikan (modul PZEM-017 dan MPPT) serta parameter mekanis (sensor *Hall*



#### 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

*Effect*), guna memastikan persentase galat sistem berada jauh di bawah ambang batas toleransi standar?

2. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan infrastruktur pemantauan *Internet of Things* (IoT) berbasis *Edge Server* menggunakan Raspberry Pi secara *native deployment* untuk mencegah kehilangan data (*data loss*) operasional pada PLTMH *siphon* di area dengan konektivitas internet fluktuatif?
3. Bagaimana pengaruh variasi interval waktu pengambilan data (*polling interval*) terhadap tingkat keberhasilan transmisi data pada sistem pemantauan, serta konfigurasi interval mana yang paling optimal untuk menjaga integritas data tanpa membebani kinerja edge server?
4. Bagaimana membangun mekanisme aksesibilitas ganda (*dual-access monitoring*) yang memungkinkan *dashboard* pemantauan diakses secara lokal tanpa internet dan secara jarak jauh dengan aman menggunakan layanan *Cloudflare Tunnel*?

### 1.3 Tujuan

Sejalan dengan rumusan masalah di atas, tujuan utama dari penelitian ini adalah:

1. Memvalidasi tingkat presisi dan akurasi instrumen akuisisi data, meliputi parameter kelistrikan (modul PZEM-017 dan MPPT) serta parameter mekanis (sensor *Hall Effect*), guna memastikan persentase galat sistem berada jauh di bawah ambang batas toleransi standar.
2. Menghasilkan sistem pemantauan edge computing otonom pada Raspberry Pi yang mampu menjalankan layanan middleware (Node-RED) dan mengamankan rekaman historis data secara persisten pada basis data lokal (InfluxDB).
3. Mengevaluasi keandalan transmisi data pada sistem pemantauan melalui serangkaian pengujian packet loss dengan berbagai variasi interval waktu untuk menentukan konfigurasi polling interval yang paling efisien, stabil, dan optimal dalam menjaga integritas data historis di pangkalan data lokal.
4. Mengimplementasikan antarmuka visualisasi data yang responsif menggunakan Grafana yang dapat diakses melalui dua jalur independen, yaitu melalui *Wireless Local Area Network* (WLAN) untuk operator di lapangan dan *Cloudflare Tunnel* untuk pemantauan jarak jauh tanpa memerlukan alamat IP publik statis.

### 1.4 Luaran

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan luaran yang terukur, baik berupa produk fisik maupun dokumen teknis sebagai berikut:



## © 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. Purwarupa panel *edge server* terintegrasi yang beroperasi langsung pada PLTMH *siphon*, lengkap dengan tumpukan perangkat lunak peladen (*Node-RED*, *InfluxDB*, *Grafana*, *Cloudflared*) yang dikonfigurasi secara *native*.
2. Antarmuka visual/*dashboard* (*Grafana*) komprehensif yang menampilkan parameter kelistrikan dan mekanik pembangkit secara *real-time*, yang terbukti dapat diakses melalui jaringan LAN/WiFi lokal maupun melalui domain publik internet.
3. Laporan Tugas Akhir yang mendokumentasikan seluruh tahapan rekayasa, rancang bangun, dan hasil pengujian infrastruktur jaringan secara akademis.
4. Artikel Ilmiah yang dipresentasikan dalam seminar nasional SNTE atau SNTM.



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 arsitektur sistem pemantauan telemetri ganda berbasis *edge computing* pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) *Siphon*, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Sistem akuisisi data terbukti memiliki tingkat presisi yang sangat tinggi dengan persentase galat (*error*) secara keseluruhan berada jauh di bawah ambang batas toleransi instrumen industri (5%). Pengukuran pada sisi beban menggunakan modul PZEM-017 mencatatkan galat rata-rata sebesar **0,15%** (tegangan), **2,74%** (arus), dan **1,99%** (daya). Pengukuran mekanis menggunakan sensor *Hall Effect* mencatatkan galat rata-rata **1,35%**. Sementara itu, ekstraksi data dari *Solar Charge Controller* MPPT berbasis Modbus RTU mencatatkan akurasi tertinggi dengan galat rata-rata tegangan generator sebesar **0,43%**, tegangan baterai **0,15%**, arus generator **1,92%**, arus baterai **1,86%**, dan daya generator **2.00%**.
- Arsitektur *edge server* memiliki ketahanan operasional absolut terhadap pemadaman paksa (*hard reset*). Proses *booting* sistem operasi hingga pemuatan antarmuka visual Grafana secara penuh dapat pulih secara otonom tanpa memerlukan intervensi operator, dengan total durasi waktu tunggu (*end-to-end recovery*) rata-rata hanya mencapai **1 menit 18 detik (78 detik)**, tanpa memicu terjadinya malfungsi maupun korupsi pada pangkalan data persisten.
- Penerapan komputasi tepi (*edge computing*) secara mutlak memecahkan kerentanan arsitektur *cloud-only*. Saat disimulasikan pemutusan jaringan internet selama 30 menit (19:52 hingga 20:22 WIB), pangkalan data InfluxDB lokal tetap merekam seluruh aliran telemetri tanpa adanya celah kosong (*gap*).
- Pengujian tingkat keberhasilan transmisi data (*packet loss*) pada peladen lokal membuktikan bahwa keandalan sistem sangat dipengaruhi oleh kepadatan lalu lintas data dan kapasitas pemrosesan antarmuka. Pada interval pengiriman 1 detik, terjadi degradasi penerimaan akibat fenomena leher botol (*bottleneck*) dengan tingkat keberhasilan berkisar di angka 83,7% hingga 86,5%. Performa sistem meningkat drastis hingga 99,8% pada interval 10 detik, dan mencapai puncak keandalan mutlak sebesar 100% pada interval 1 menit. Oleh karena itu, interval 1 menit ditetapkan sebagai konfigurasi pemantauan yang paling optimal untuk mengeliminasi risiko



### 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

pergeseran stempel waktu, memastikan integritas transmisi data, dan mencegah keausan memori peladen secara jangka panjang.

- Implementasi agen *Cloudflare Tunnel* sukses memfasilitasi arsitektur akses ganda tanpa konfigurasi IP publik, dengan tingkat keberhasilan pemuatan (*reliability*) sebesar **100%** tanpa anomali *timeout*. Dari segi performa latensi, waktu muat dasbor melalui jaringan WLAN lokal tercatat sangat responsif di angka **3,03 detik**. Akses jarak jauh via jaringan seluler yang melewati infrastruktur terowongan global mencatatkan waktu muat sebesar **4,57 detik**. Selisih penundaan (*delay*) sebesar **1,54 detik** ini membuktikan bahwa enkripsi layanan terowongan beroperasi sangat efisien dan masih berada pada batas toleransi kinerja operasional jarak jauh yang sangat baik.

## 5.2 Saran

Meskipun sistem pemantauan berbasis *edge computing* pada PLTMH *siphon* ini telah menunjukkan performa akurasi dan keandalan yang sangat baik, terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan lebih lanjut untuk penelitian atau implementasi di masa mendatang:

- Penelitian selanjutnya dapat memperluas fungsionalitas sistem yang saat ini masih berfokus pada fungsi pemantauan (*monitoring*) dan indikator alarm (*buzzer*). Dasbor Grafana dan *middleware* Node-RED dapat diintegrasikan dengan sistem aktuator fisik jarak jauh untuk membentuk kendali kelistrikan loop tertutup (*closed-loop*), seperti pengaturan pembukaan katup *siphon* secara otomatis, pembuangan udara otomatis pada sistem vakum saat RPM turbin menurun, atau pengalihan beban cadangan (*dump load*) ketika kapasitas baterai (*State of Charge*) telah penuh.
- Penggunaan kartu memori *Secure Digital* (SD Card) sebagai media penyimpanan utama pangkalan data InfluxDB pada Raspberry Pi memiliki kerentanan terhadap siklus penulisan data yang terjadi secara terus-menerus (*high write endurance*). Untuk menjaga keberlanjutan infrastruktur dalam jangka panjang di lokasi pembangkit, disarankan untuk memindahkan repositori penyimpanan basis data ke media yang lebih tangguh seperti *Solid State Drive* (SSD) eksternal, atau menerapkan strategi *log-rotation* dan pembersihan data berkala (*data retention policy*).
- Untuk mereduksi durasi pemulihan otomatis (*auto-recovery*) tingkat sistem yang saat ini membutuhkan waktu rata-rata 1 menit 18 detik, implementasi perangkat keras dapat ditingkatkan menggunakan versi papan tunggal yang lebih baru, seperti Raspberry Pi 4 atau Raspberry Pi 5. Peningkatan kapasitas prosesor dan RAM ini juga



## © 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

diproyeksikan dapat memangkas waktu tunda pemuatan dasbor (*page load time*) via terowongan Cloudflare agar lebih responsif di bawah 3 detik.

- Meskipun fitur pemulihan mandiri sistem telah terbukti andal pasca-pemadaman, siklus mati-nyala tegangan secara paksa (*hard reset*) tetap berisiko menimbulkan kerusakan jangka panjang pada sektor perangkat keras peladen. Penambahan unit UPS mini (*Uninterruptible Power Supply*) berbasis DC khusus untuk menyuplai Raspberry Pi sangat disarankan agar peladen tetap menyala selama fluktuasi daya sesaat terjadi, sekaligus memberikan waktu bagi sistem untuk melakukan proses pemadaman secara aman (*graceful shutdown*) apabila listrik padam dalam waktu yang lama.



## DAFTAR PUSTAKA

- Adiwiranto, M. N., & Waluyo, C. B. (2021). Prototipe Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik serta Estimasi Biaya pada Peralatan Rumah Tangga Berbasis Internet of Things . *ELECTRON*, 69-78.
- Axelson, J. (2015). *Serial Port Complete: COM Ports, USB Virtual COM Ports, and Ports for Embedded Systems Second Edition*. Madison: Lakeview Research LLC.
- Baswara, A. R., & Alfaqi, R. (2023). Rancang Bangun Sistem Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Berbasis Internet Of Things (IoT). *JTE*, 39-51.
- Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J., & Watson, T. (2018). The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. *Computers in Industry*, 1 - 12.
- Chakraborty, M., & Kundan, A. (2021). Grafana. Dalam *Monitoring Cloud-Native Applications* (hal. 187-240). Berkeley, CA: Apress.
- Cloudflare. (2026). *Cloudflare Tunnel*. Diambil kembali dari Cloudflare Docs: <https://developers.cloudflare.com/cloudflare-one/networks/connectors/cloudflare-tunnel/>
- Esrarn, T., & Chapman, P. L. (2007). Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 439-449.
- Farahat, M. A., Metwally, H. M., & Mohamed, A. A. (2012). Optimal choice and design of different topologies of DC-DC converter used in PV systems, at different climatic conditions in Egypt. *Renewable Energy*, 393-402.
- Galloway, B., & Hancke, G. P. (2013). Introduction to industrial control networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 860-880.
- Hydromax Energy Limited. (2010). *Run-of-River Hydro Power*. Diambil kembali dari <https://web.archive.org/web/20100407060941/http://www.hydromaxenergy.com/Green+Power/Run-of-River+Hydro+Power/Run-of-River+Hydro+Power.htm>
- IOZE hydro. (2022, April). Diambil kembali dari Siphon turbines – a cost-effective solution: [https://hydro.ioze.pl/wp-content/uploads/2025/03/EW-eng-4\\_22.pdf](https://hydro.ioze.pl/wp-content/uploads/2025/03/EW-eng-4_22.pdf)
- Jensen, S. K., Pedersen, T. B., & Thomsen, C. (2017). Time Series Management Systems: A Survey. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2581-2600.

### 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

- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM). (2021). *Buku Rencana Strategis (Renstra)*. Jakarta Pusat: Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi.
- Kurose, J. F., & Ross, K. W. (2017). *Computer Networking: A Top-Down Approach*. New Jersey: Pearson.
- Lekić, M., & Gardašević, G. (2018). IoT sensor integration to Node-RED platform. *17th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, 1-5.
- Mach, P., & Becvar, Z. (2017). Mobile Edge Computing: A Survey on Architecture and Computation Offloading. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 1628-1656.
- Maier, A., Sharp, A., & Vagapov, Y. (2017). Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things. *Internet Technologies and Applications (ITA)*, 143-148.
- Maksimović, M., Vujović, V., Davidović, N., Milošević, V., & P. B. (2014). Raspberry Pi as Internet of Things hardware: Performances and Constraints . 1 - 6.
- Martinez, J. J., Deng, Z. D., Klopries, E.-M., Mueller, R. P., Titzler, P. S., Zhou, D., . . . Hansten, A. W. (2018). Characterization of a Siphon Turbine to Accelerate Low-Head Hydropower. *Journal of Cleaner Production*, 35-42.
- Microchip Technology Inc. (2002). *Brushless DC Motor Control Made Easy (Application Note AN857)*. Chandler: Microchip Technology Inc.
- NWG. (2024, Januari). *NWG ENGINEERING BRIEFING NOTE*. Diambil kembali dari NWG living water: <https://www.nwg.co.uk/globalassets/business-plan-2025-30/draft-determination-august-24/nes22a1---engineering-briefing-note---principles-of-siphon-design-for-emergency-reservoir-drawdown.pdf>
- Okot, D. K. (2013). Review of small hydropower technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 515-520.
- Shi, W., Cao, j., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. (2016). Edge Computing: Vision and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 637-646.
- Sisinni, E., Saifullah, A., Han, S., Jennehag, U., & Gidlund, M. (2018). Industrial Internet of Things: Challenges, Opportunities, and Directions. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 4724-4734.



## © 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

Sittón-Candanedo, I., Alonso, R. S., Corchado, J. M., Rodríguez-González, S., & Casado-Vara, R. (2019). A review of edge computing reference architectures and a new global edge proposal. *Future Generation Computer Systems*, 278-294.

Soloman, S. (2010). *Sensors Handbook (2nd ed.)*. McGraw-Hill Education.

Zaini, M., Safrudin, & Bachrudin, M. (2020). PERANCANGAN SISTEM MONITORING TEGANGAN, ARUS DAN FREKUENSI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO BERBASIS IOT. *TESLA*, 22, 139-150.

Zare, A., & Iqbal, M. T. (2020). Low-Cost ESP32, Raspberry Pi, Node-Red, and MQTT Protocol Based SCADA System. 1-5.

Zhou, D., Gui, J., Deng, Z. D., Chen, H., Yu, Y., Yu, A., & Yang, C. (2019). Development of an ultra-low head siphon hydro turbine using computational fluid dynamics. *Energy*, 43-50.

**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 RIWAYAT HIDUP PENULIS



Haikal Santriano

Lulus dari SDS Kartika VIII-5 tahun 2016, SMPN 211 Jakarta tahun 2019, dan SMAN 109 Jakarta pada tahun 2022. Sampai saat tugas akhir ini dibuat, Penulis merupakan mahasiswa aktif di Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Otomasi Listrik Industri, 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

### Dokumentasi Pengerjaan





## © 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





## © 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





## © 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





## © 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

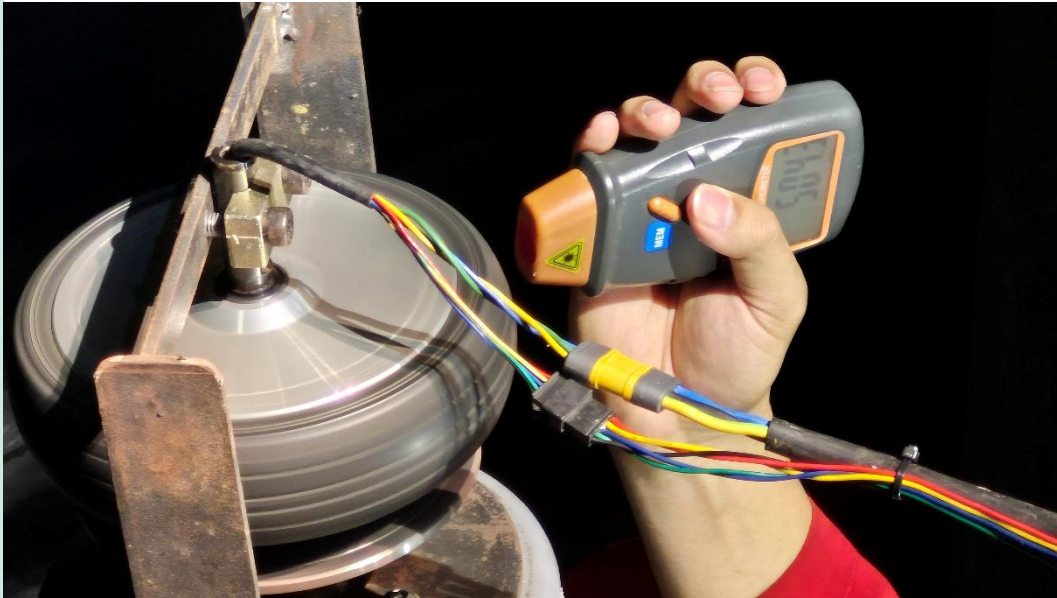




## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### 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

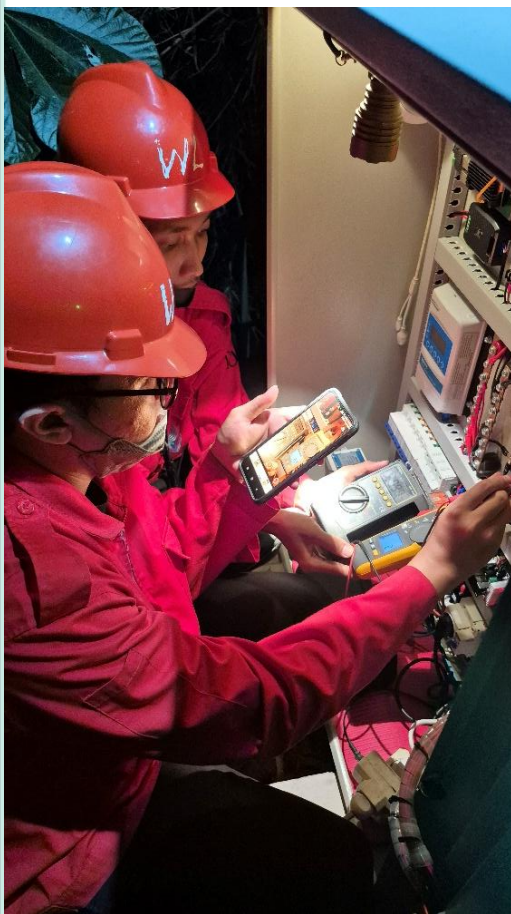




## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### 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

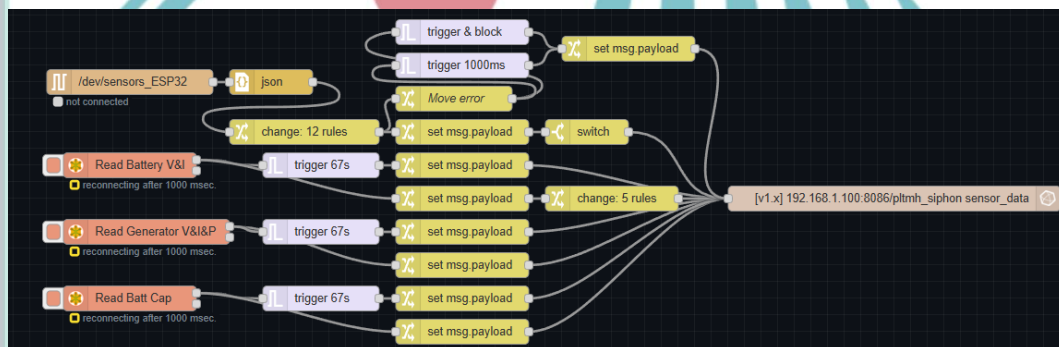
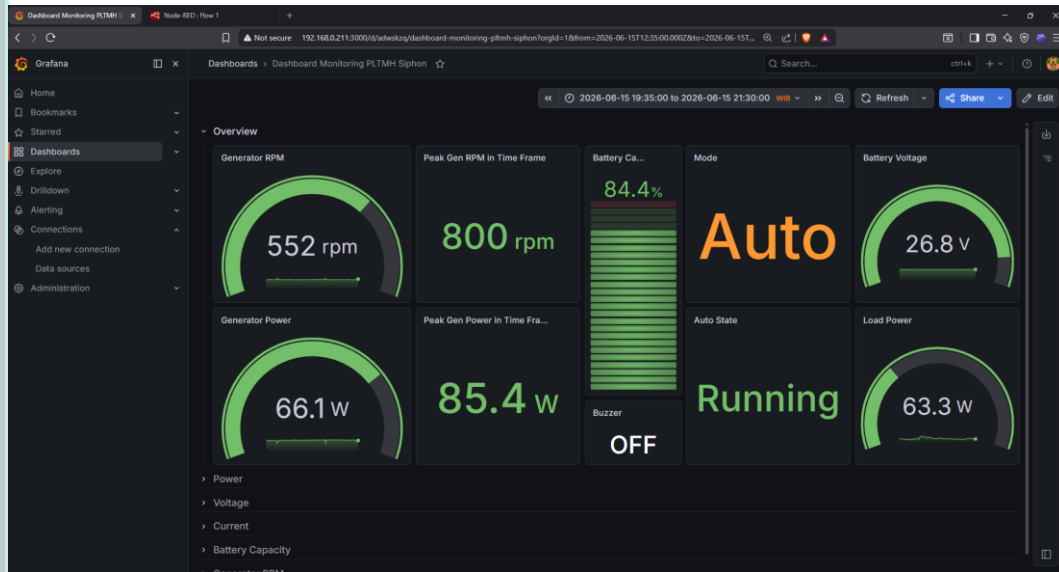




## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



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

### Kode Fungsi untuk Pengiriman Data Dari ESP32 ke Raspberry Pi

```
void sendDataIfNeeded() { // Mengirimkan data
  PZEM dan rpm ke Pi dengan Serial USB
  if (millis() - lastSerialSendMs < SERIAL_SEND_MS) { // Mengecek
    apakah belum waktunya kirim.
    return; // Keluar agar data
    tidak dikirim terlalu sering. // Akhir pemeriksaan
    interval.

    lastSerialSendMs = millis(); // Menyimpan waktu
    pengiriman terakhir.

    char payload[320]; // Buffer teks JSON
    tetap sama.
    sprintf(payload, sizeof(payload), // Membuat payload
    JSON sederhana.
    "{
    \"rpm\":%.1f,
    \"pzem_ok\":%s,
    \"voltage\":%.2f,
    \"current\":%.2f,
    \"power\":%.1f,
    \"energy_wh\":%.0f,
    \"mode\":\"%s\",
    \"auto_state\":\"%s\",
    \"motor_vac\":%d,
    \"mv_vac\":%d,
    \"mv_vent\":%d,
    \"lamp_ready\":%d,
    \"lamp_starting\":%d,
    \"lamp_run\":%d,
    \"lamp_error\":%d,
    \"slv_drain\":%d\"
    }",
    currentRpm,
    pzemData.valid ? "true" : "false",
    pzemData.voltage,
    pzemData.current,
    pzemData.power,
    pzemData.energyWh,
    modeName(activeMode),
    autoStateName(autoState),
    outMotorVac,
    outMvVac,
    outMvVent,
    outLampReady,
    outLampStarting,
    outLampRun,
    outLampError,
    outSlvDrain);
    // Kirim string JSON langsung lewat kabel USB ke Raspberry Pi
    Serial.println(payload);
  }
}
```

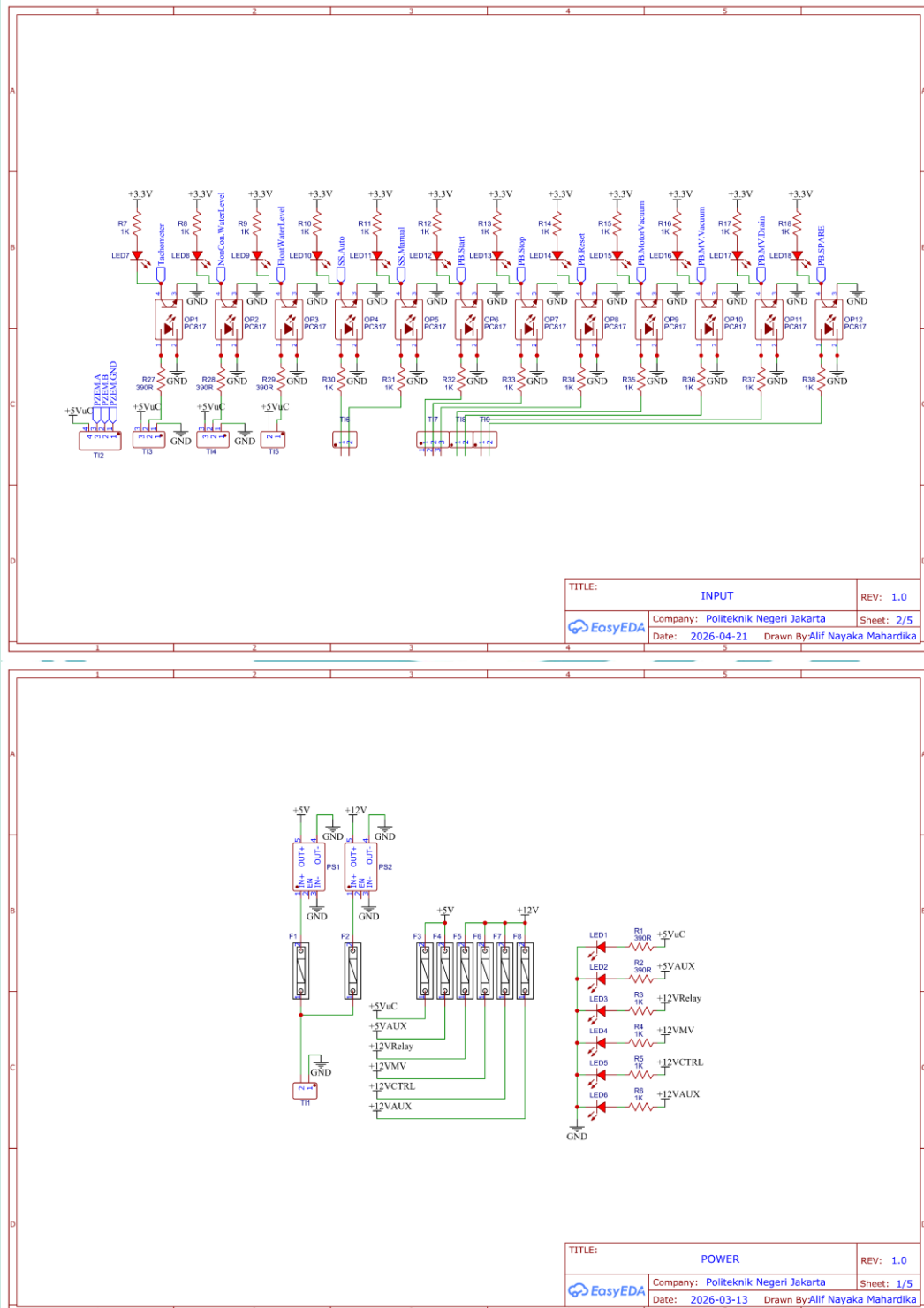


## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### 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 mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar Wiring



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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

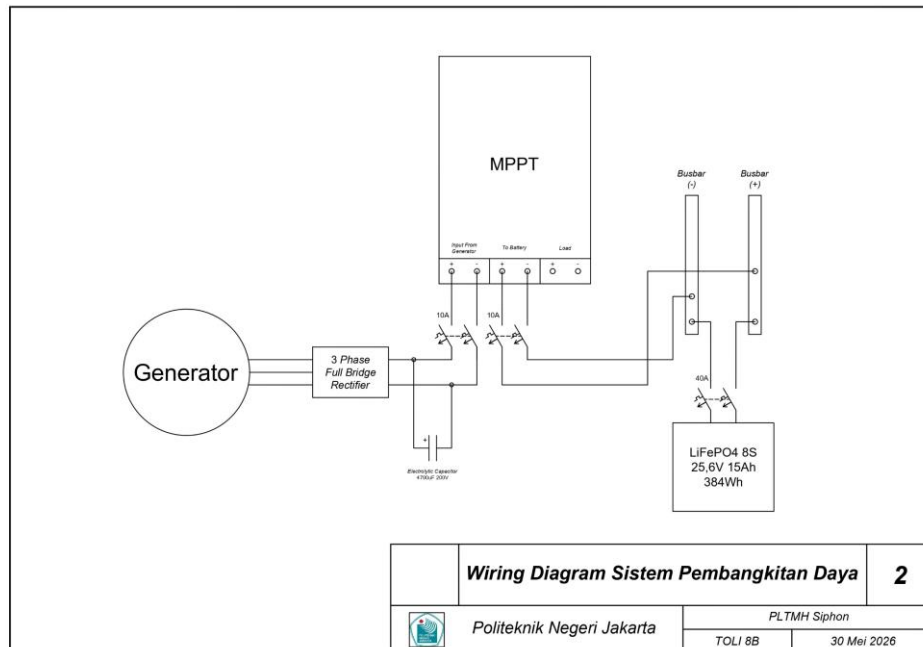
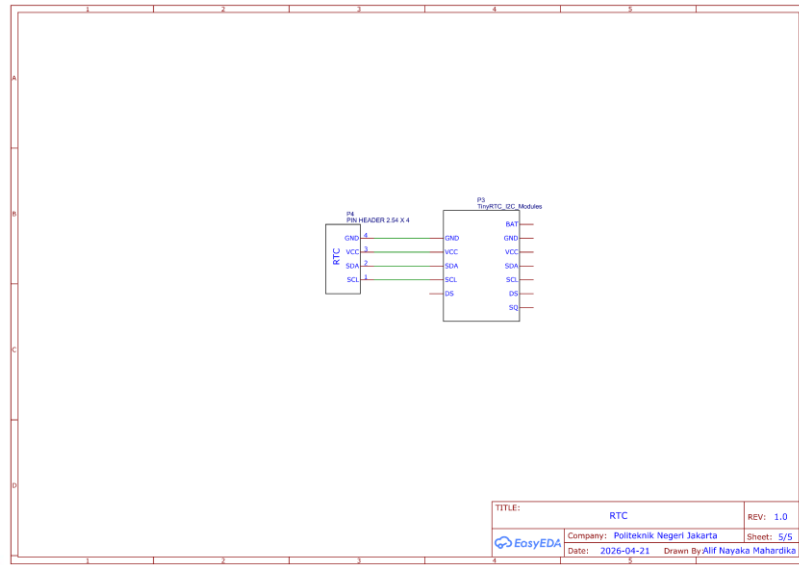




## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### 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





## © 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

