

## DAFTAR ISI

|                                      |      |
|--------------------------------------|------|
| LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR .....  | ii   |
| SURAT PERNYATAAN KARYA SENDIRI ..... | iii  |
| ABSTRAK.....                         | iv   |
| <i>ABSTRACT</i> .....                | v    |
| KATA PENGANTAR .....                 | vi   |
| DAFTAR ISI .....                     | viii |
| DAFTAR GAMBAR DAN ILUSTRASI.....     | xi   |
| DAFTAR TABEL .....                   | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN.....               | 1    |
| 1.1. Latar Belakang .....            | 1    |
| 1.2. Kajian Riset Terdahulu .....    | 2    |
| 1.3. Rumusan Masalah.....            | 7    |
| 1.4. Tujuan dan Manfaat .....        | 7    |
| 1.4.1. Tujuan .....                  | 7    |
| 1.4.2. Manfaat .....                 | 7    |
| 1.5. Batasan Masalah .....           | 7    |
| 1.6. Kerangka Berpikir.....          | 8    |
| 1.7. Sistematika Penulisan .....     | 9    |
| BAB II TEORI DASAR .....             | 10   |
| 2.1. Sistem Kendali.....             | 10   |
| 2.1.1. <i>Open Loop</i> .....        | 11   |
| 2.1.2. <i>Close Loop</i> .....       | 11   |
| 2.2. Daya Listrik .....              | 12   |
| 2.3. <i>Internet of Things</i> ..... | 15   |
| 2.3.1. Protokol MQTT.....            | 16   |
| 2.3.2. IoT MQTT Panel.....           | 17   |
| 2.3.3. MQTT <i>Broker</i> .....      | 18   |
| 2.4. KWh Meter .....                 | 19   |
| 2.5. <i>Smart Meter</i> .....        | 20   |

|  |   |    |
|--|---|----|
| 2.6.   | Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....           | 21 |
| 2.6.1.   | PLTS <i>Off-Grid</i> .....                            | 22 |
| 2.6.2.   | PLTS <i>On-Grid</i> .....                             | 23 |
| 2.6.3.   | PLTS <i>Hybrid</i> .....                              | 24 |
| 2.7.   | Panel Surya .....                                     | 25 |
| 2.8.   | <i>Solar Charge Controller</i> .....                  | 27 |
| 2.9.   | <i>Inverter</i> .....                                 | 28 |
| 2.10.  | Baterai <i>Valve Regulated Lead Acid (VRLA)</i> ..... | 29 |
| 2.11.  | <i>Automatic Transfer Switch (ATS)</i> .....          | 30 |
| 2.12.  | <i>Mini Circuit Breaker (MCB)</i> .....               | 31 |
| 2.13.  | Arduino IDE .....                                     | 31 |
| 2.14.  | NodeMCU ESP8266 .....                                 | 32 |
| 2.15.  | Sensor PZEM-004T.....                                 | 34 |
| 2.16.  | Sensor Tegangan 0-25V DC.....                         | 35 |
| 2.17.  | LCD .....   | 36 |
| 2.18.  | Modul I2C LCD .....                                   | 36 |
| 2.19.  | <i>Relay</i> .....                                    | 37 |
| 2.20.  | Modul RTC.....  | 38 |
| 2.21.  | <i>Power Supply AC/DC</i> .....                       | 39 |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....           |   | 41 |
| 3.1.   | Tahapan Penelitian.....                               | 41 |
| 3.2.   | Studi Literatur .....                                 | 42 |
| 3.3.   | Identifikasi Masalah.....                             | 42 |
| 3.4.   | Analisis Kebutuhan.....                               | 42 |
| 3.5.   | Perancangan Sistem .....                              | 43 |
| 3.6.   | Implementasi Sistem.....                              | 44 |
| 3.7.   | Pengujian Sistem.....                                 | 44 |
| 3.8.   | Analisis Hasil.....                                   | 44 |
| <b>BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI</b> ..... |   | 45 |
| 4.1.   | Perancangan .....                                     | 45 |
| 4.1.1.   | Perancangan Sistem PLTS .....                         | 46 |

|                                    |  |     |
|------------------------------------|--|-----|
| 4.1.2.                             | Perancangan Sistem <i>Smart Electric Meter</i> .....             | 50  |
| 4.1.3.                             | Perancangan <i>Software</i> .....                                | 54  |
| 4.2.                               | Implementasi.....  | 54  |
| 4.2.1.                             | Implementasi Sistem PLTS.....                                    | 55  |
| 4.2.2.                             | Implementasi Sistem <i>Smart Electric Meter</i> .....            | 55  |
| 4.2.3.                             | Implementasi Sistem Keseluruhan .....                            | 57  |
| 4.2.4.                             | Implementasi Pemrograman.....                                    | 59  |
| 4.2.5.                             | Implementasi <i>Platform IoT MQTT Panel</i> .....                | 69  |
| BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS ..... |  | 72  |
| 5.1.                               | Pengujian .....  | 72  |
| 5.1.1.                             | Pengujian Sensor PZEM-004T .....                                 | 72  |
| 5.1.2.                             | Pengujian Sensor Tegangan pada Baterai .....                     | 74  |
| 5.1.3.                             | Pengujian Respons <i>Relay</i> pada ATS .....                    | 75  |
| 5.1.4.                             | Pengujian Respons <i>Relay</i> pada Terminal Beban Listrik ..... | 75  |
| 5.1.5.                             | Pengujian Pengukuran Harga Konsumsi Listrik .....                | 76  |
| 5.1.6.                             | Pengujian Sistem <i>Monitoring</i> .....                         | 77  |
| 5.2.                               | Analisis .....   | 77  |
| 5.2.1.                             | Analisis Pengujian Sensor PZEM-004T .....                        | 77  |
| 5.2.2.                             | Analisis Pengujian Sensor Tegangan pada Baterai .....            | 82  |
| 5.2.3.                             | Analisis Respons <i>Relay</i> pada ATS .....                     | 84  |
| 5.2.4.                             | Analisis Respons <i>Relay</i> pada Terminal Beban Listrik.....   | 85  |
| 5.2.5.                             | Analisis Pengujian Pengukuran Harga Konsumsi Listrik.....        | 86  |
| 5.2.6.                             | Analisis Pengujian Sistem <i>Monitoring</i> .....                | 87  |
| BAB VI PENUTUP .....               |  | 89  |
| 6.1.                               | Kesimpulan .....   | 89  |
| 6.2.                               | Saran .....  | 90  |
| DAFTAR PUSTAKA .....               |  | 91  |
| LAMPIRAN .....                     |  | 100 |

## DAFTAR GAMBAR DAN ILUSTRASI

|  |    |
|--|----|
| Gambar 1. 1 Kajian riset terdahulu. ....                           | 6  |
| Gambar 1. 2 Kerangka berpikir.....                                 | 8  |
| Gambar 2. 1 Diagram blok sistem kendali terbuka.....               | 11 |
| Gambar 2. 2 Diagram blok sistem kendali tertutup. ....             | 12 |
| Gambar 2. 3 Arsitektur dasar IoT MQTT Panel. ....                  | 18 |
| Gambar 2. 4 KWh meter rumah tinggal.....                           | 20 |
| Gambar 2. 5 Skema terjadinya efek <i>photovoltaic</i> . ....       | 21 |
| Gambar 2. 6 Skema sistem PLTS <i>off-grid</i> . ....               | 22 |
| Gambar 2. 7 Skema sistem PLTS <i>on-grid</i> . ....                | 23 |
| Gambar 2. 8 Skema sistem PLTS <i>hybrid</i> . ....                 | 24 |
| Gambar 2. 9 Panel surya monokristal. ....                          | 25 |
| Gambar 2. 10 Panel surya polikristal. ....                         | 26 |
| Gambar 2. 11 <i>Thin film photovoltaic</i> ....                    | 27 |
| Gambar 2. 12 <i>Solar charge controller</i> . ....                 | 27 |
| Gambar 2. 13 Prinsip kerja <i>inverter</i> . ....                  | 28 |
| Gambar 2. 14 <i>Inverter</i> 1000 Watt. ....                       | 28 |
| Gambar 2. 15 Baterai <i>valve regulated lead acid</i> (VRLA). .... | 29 |
| Gambar 2. 16 <i>Automatic transfer switch</i> (ATS). ....          | 30 |
| Gambar 2. 17 <i>Mini circuit breaker</i> (MCB). ....               | 31 |
| Gambar 2. 18 <i>User interface</i> Arduino IDE. ....               | 32 |
| Gambar 2. 19 Konfigurasi pin NodeMCU ESP8266 LoLin. ....           | 34 |
| Gambar 2. 20 Modul sensor PZEM-004T.....                           | 35 |
| Gambar 2. 21 Sensor tegangan 0-25V DC.....                         | 36 |
| Gambar 2. 22 LCD 16x2.....   | 36 |
| Gambar 2. 23 Modul I2C LCD. ....                                   | 37 |
| Gambar 2. 24 Modul <i>relay 2 channel</i> . ....                   | 38 |
| Gambar 2. 25 Modul RTC DS3231. ....                                | 39 |
| Gambar 2. 26 <i>Power supply</i> AC/DC.....                        | 40 |
| Gambar 3. 1 <i>Flow chart</i> penelitian. ....                     | 41 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 4. 1 <i>Flow chart</i> cara kerja ATS dan <i>smart electric meter</i> .....  | 46 |
| Gambar 4. 2 Diagram blok sistem PLTS. ....  | 48 |
| Gambar 4. 3 Diagram blok sistem kendali tertutup rangkaian <i>relay</i> ATS.....  | 49 |
| Gambar 4. 4 Desain sistem PLTS. ....  | 49 |
| Gambar 4. 5 Skematik rangkaian <i>relay</i> untuk ATS. ....   | 49 |
| Gambar 4. 6 Diagram blok sistem <i>smart electric meter</i> . ....  | 51 |
| Gambar 4. 7 Diagram blok sistem kendali terbuka <i>smart electric meter</i> .....   | 52 |
| Gambar 4. 8 Desain sistem <i>smart electric meter</i> . ....  | 52 |
| Gambar 4. 9 Skematik rangkaian <i>smart electric meter</i> .....  | 53 |
| Gambar 4. 10 Pengkabelan sistem PLTS.....   | 55 |
| Gambar 4. 11 <i>Box smart electric meter</i> . ....   | 56 |
| Gambar 4. 12 Tampilan <i>panel box</i> bagian dalam. ....   | 57 |
| Gambar 4. 13 Tampilan <i>panel box</i> bagian depan.....  | 58 |
| Gambar 4. 14 Implementasi panel surya.....  | 59 |
| Gambar 4. 15 <i>User Interface Edit Panel</i> .....   | 70 |
| Gambar 4. 16 Tampilan <i>Dashboard</i> sebagai <i>User Interface</i> . ....   | 71 |
| Gambar 5. 1 Grafik perbandingan hasil pengukuran tegangan AC oleh sensor PZEM-004T dan <i>clamp meter</i> .....               | 78 |
| Gambar 5. 2 Grafik perbandingan hasil pengukuran arus AC oleh sensor PZEM-004T dan <i>clamp meter</i> .....                   | 80 |
| Gambar 5. 3 Grafik perbandingan hasil pengukuran daya oleh sensor PZEM-004T dan <i>clamp meter</i> . ....                     | 81 |
| Gambar 5. 4 Grafik perbandingan hasil pengukuran tegangan baterai oleh sensor tegangan 0-25V DC dan <i>clamp meter</i> . .... | 83 |
| Gambar 5. 5 <i>User interface</i> sistem <i>monitoring</i> pada IoT MQTT Panel. ....  | 88 |

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 1.1 Tabel referensi.....   | 3  |
| Tabel 3. 1 Analisis kebutuhan penelitian. ....   | 43 |
| Tabel 4. 1 Spesifikasi sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS).....  | 47 |
| Tabel 4. 2 Konfigurasi pin rangkaian <i>relay</i> ATS.....   | 50 |
| Tabel 4. 3 Spesifikasi sistem <i>smart electric meter</i> .....  | 50 |
| Tabel 4. 4 Konfigurasi pin komponen sistem <i>smart electeic meter</i> .....   | 53 |
| Tabel 4. 5 Keterangan lampu indikator.....   | 58 |
| Tabel 4. 6 <i>Library</i> yang digunakan beserta fungsinya.....  | 59 |
| Tabel 4. 7 Inisialisasi program beserta fungsinya.....   | 61 |
| Tabel 5. 1 Perbandingan hasil pengukuran tegangan AC ( $V_{RMS}$ ) oleh sensor PZEM-004T dengan <i>clamp meter</i> ..... | 72 |
| Tabel 5. 2 Perbandingan hasil pengukuran arus AC ( $I_{RMS}$ ) oleh sensor PZEM-004T dengan <i>clamp meter</i> .....     | 73 |
| Tabel 5. 3 Perbandingan hasil pengukuran daya aktif oleh sensor PZEM-004T dengan spesifikasi beban listrik. ....         | 74 |
| Tabel 5. 4 Perbandingan hasil pengukuran tegangan baterai oleh sensor tegangan 0-25V dengan <i>clamp meter</i> .....     | 74 |
| Tabel 5. 5 Hasil pengujian respons waktu <i>delay relay</i> ATS.....   | 75 |
| Tabel 5. 6 Hasil pengujian respons <i>relay</i> terminal listrik. ....   | 76 |
| Tabel 5. 7 Hasil pengujian harga konsumsi daya listrik. ....   | 76 |
| Tabel 5. 8 Hasil pengujian sistem <i>monitoring</i> . ....   | 77 |