



Implementasi PZEM 004t Untuk Proses Monitoring Terhadap Kondisi Output dan Pembebanan Pada Sistem PLTS

Josephin Sundah¹, Johan Makal², Johan Pongoh³, Fanny Doringin⁴, Ali Ramschie⁵

Sarjana Terapan Teknik Listrik, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado, Manado ^{1,2,4}

D3 Teknik Listrik, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado, Manado ^{3,5}

E-mail: josephinsundah2017@gmail.com

Abstrak

Penggunaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sebagai sumber energi terbarukan semakin meningkat seiring dengan upaya global untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan mengurangi emisi karbon. Pemantauan kondisi daya dan beban suatu sistem PLTS sangat penting untuk memastikan efisiensi dan stabilitas operasional sistem PLTS. Namun pemantauan yang manual dan tidak terintegrasi seringkali menjadi kendala dalam pengelolaan sistem PLTS.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengimplementasikan modul PZEM 004t sebagai alat monitoring untuk memantau keluaran dan kondisi beban suatu sistem PLTS. Dengan menggunakan modul ini diharapkan diperoleh informasi akurat secara real-time mengenai kondisi tegangan, arus, frekwensi, factor daya, daya listrik dan energi listrik yang dihasilkan dan dikonsumsi oleh sistem PLTS.

Metode penelitian meliputi perancangan sistem kendali berbasis PZEM 004t, pengintegrasian modul ke dalam sistem PLTS, serta pengujian dan evaluasi kinerja sistem. Data dari modul PZEM 004t dikumpulkan dan dianalisis untuk memastikan akurasi dan keandalan pemantauan. Pengujian dilakukan pada kondisi beban berbeda untuk mengamati respons dan kinerja modul dalam situasi berbeda.

Dengan diterapkannya modul PZEM 004t pada sistem PLTS, ternyata dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi listrik dari sistem PLTS, dimana pengguna dapat memantau secara realtime kondisi pembebanannya, dan dapat menyesuaikan sesuai dengan kebutuhan agar pemanfaatan sistem PLTS lebih efisien.

Kata kunci—PZEM 004t, Monitoring, Efisiensi, Sistem PLTS

1. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan solusi penting dalam upaya global mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan gas rumah kaca (Pratama et al., 2023)(Afif et al., 2022). Pemanfaatan PLTS di berbagai sektor, baik skala kecil maupun besar, telah menunjukkan potensi besar dalam memenuhi kebutuhan energi secara berkelanjutan. Namun pemantauan dan pengelolaan kondisi keluaran dan beban PLTS masih menjadi tantangan besar (Manahara, et al., 2022)(Yuwono et al., 2021). Tanpa sistem pemantauan yang baik, masalah seperti ketidakseimbangan beban, kerusakan modul, atau hilangnya efisiensi tidak dapat diidentifikasi dengan cepat, sehingga dapat mengurangi kinerja sistem dan masa pakai (Musthofa et al., 2020).

Informasi aktivitas PLTS secara real-time memerlukan teknologi pemantauan yang andal dan akurat. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan

alat pemantauan dapat meningkatkan efisiensi kerja dan membantu mengambil keputusan pemeliharaan secara proaktif. Misalnya, sistem pemantauan berbasis internet of things (IoT) (Sari et al., 2024) telah terbukti efektif dalam pengendalian dan pemantauan sistem energi secara real-time, sehingga menawarkan manfaat dalam hal efisiensi energi dan manajemen beban. Tujuan dari penelitian ini adalah mengimplementasikan modul PZEM 004t sebagai alat monitoring (pada sistem PLTS. Modul ini dipilih karena dapat mengukur parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya dan energi dengan akurasi yang tinggi. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem pemantauan yang mampu menghasilkan informasi akurat secara real-time untuk mengelola operasional PLTS. Keunggulan penelitian ini adalah sebagai berikut:

Peningkatan efisiensi operasional: Dengan pemantauan yang akurat, pengelola sistem PLTS dapat melakukan perubahan dan perbaikan dengan cepat dan tepat waktu sehingga meningkatkan efisiensi operasional. Hal ini konsisten dengan Padmayathi dkk. menunjukkan bahwa pemantauan yang baik dapat meningkatkan kinerja sistem PV secara keseluruhan (Padmayathi et al., 2015).

Deteksi dini masalah: Sistem pemantauan yang baik memungkinkan deteksi dini masalah teknis, yang dapat mengurangi risiko kerusakan lebih lanjut dan biaya perbaikan yang tinggi. Studi Ali dan Hasan menyoroti pentingnya deteksi dini dalam menjaga stabilitas dan efisiensi sistem PLTS (Ali et al., 2013).

Data real-time yang akurat: Penggunaan modul PZEM 004t akan memberikan data real-time yang akurat mengenai kinerja PLTS. Informasi ini sangat penting untuk analisis dan pengambilan keputusan. Hartman dkk. menunjukkan bahwa data real-time adalah kunci untuk mengelola sistem energi berbasis IoT (Hartman et al., 2018).

Manajemen beban yang lebih baik: Dengan pemantauan berkelanjutan, sistem dapat mengelola beban dengan lebih efisien, menghindari kelebihan beban, dan memastikan distribusi energi yang optimal. Menurut Medeti bahwa manajemen beban yang baik dapat mengoptimalkan kinerja sistem PLTS secara keseluruhan (Medeti et al., 2017).

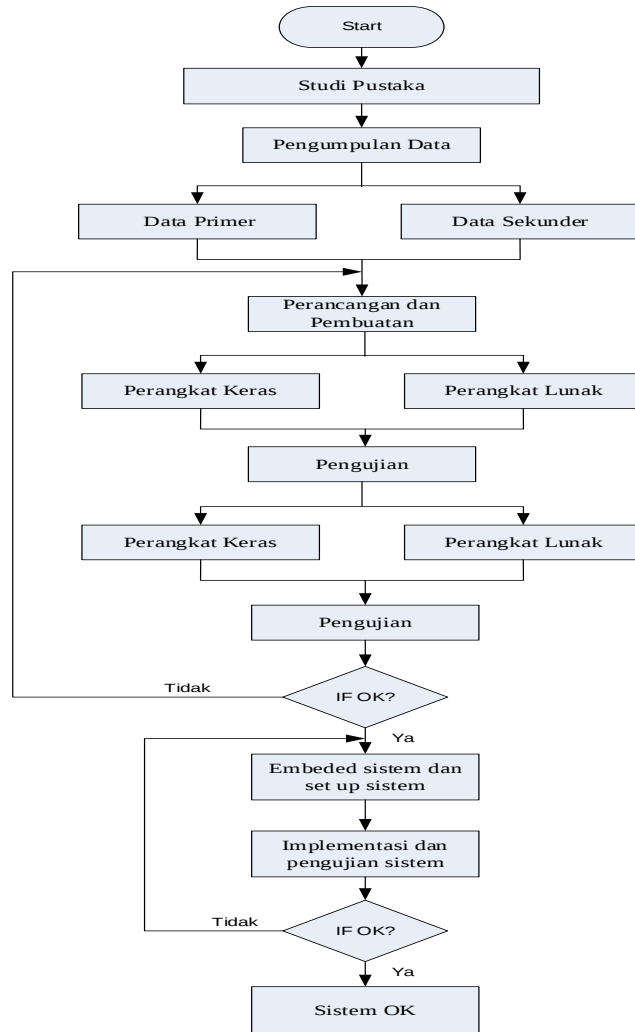
Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan teknologi pemantauan PLTS yang lebih baik dan efisien serta memberikan solusi praktis dan ekonomis bagi pengelola PLTS dari berbagai skala

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode prototyping, dimana tahapan-tahapannya diperlihatkan pada Gambar 1.

Adapun tahapan-tahapannya sebagai berikut:

1. Studi pustaka, merupakan tahapan yang dilakukan melalui penelusuran terhadap teori-teori pendukung untuk mendapatkan gambaran yang sesuai dalam pembuatan monitoring Output dan pembebanan sistem PLTS.
2. Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan data awal terhadap kerja proses monitoring Output dan pembebanan sistem PLTS.
3. Tahap perancangan sistem, dimana pada tahap ini penulis mengumpulkan data berupa study literatur, konsultasi dengan pihak yang dianggap kompeten sebagai representasi dari pengumpulan data sekunder, serta melakukan pengumpulan data primer.
4. Perancangan sistem, Pada tahap ini dilakukan perancangan desain dari sistem berdasarkan data yang telah dikumpulkan, dimana desain sistem mencakup desain perangkat keras dan desain perangkat lunak.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian

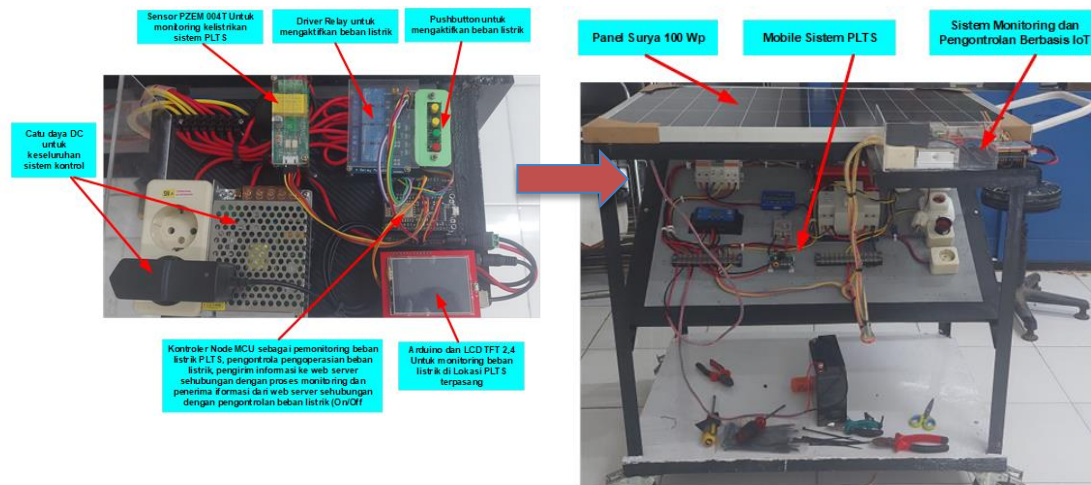
5. Pembuatan sistem, pada tahap ini dilakukan pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak yang akan dikembangkan pada sistem, berdasarkan desain sistem.
6. Tahapan embed sistem merupakan tahapan menanamkan program ke perangkat kontroler, untuk menjalankan proses monitoring Output dan pembebanan sistem PLTS.
7. Tahap Implementasi dan pengujian Sistem, dilakukan proses pengimplementasian sistem ke sistem pembangkit PLTS dan dilakukan pengujian terhadap sistem yang telah dibuat apakah telah berfungsi sesuai dengan yang diharapkan, jika belum sesuai dengan yang diharapkan, maka proses kembali ke tahap pembuatan sistem. Jika sistem yang dibuat telah sesuai dengan yang diharapkan, maka aplikasi telah selesai dan siap digunakan dan jika masih belum sesuai, maka proses yang dilakukan adalah proses perancangan sistem.
8. Sistem aplikasi ok, tahapan terakhir dimana telah dihasilkannya sistem monitoring Output dan pembebanan sistem PLTS sesuai dengan yang direncanakan.

2.1 Perancangan dan Pembuatan Sistem Monitoring Output dan Pembebanan pada sistem PLTS

Blok diagram sistem, merupakan bagian dalam perancangan sistem yang merepresentasikan hubungan antara tiap-tiap bagian yang menunjang kerja dari sistem monitoring Output dan pembebanan sistem PLTS. Blok diagram sistem monitoring Output dan pembebanan sistem PLTS diperlihatkan pada Gambar 2.

9. *Web server*, difungsikan sebagai media untuk *interface user* dalam hal proses monitoring kerja dari sistem PLTS, dalam hal menginformasikan sehubungan dengan besaran Tegangan Listrik, besaran Arus Listrik, besaran *Power Faktor* (Pf), besaran Frekwensi, besaran Daya Listrik (Watt) dan besaran Energi Listrik (KWh) serta besarnya Rupiah yang akan dibayarkan sehubungan dengan konsumsi energi listrik. Disamping itu juga *Web Server* difungsikan sebagai media pengontrolan terhadap peralatan listrik yang disuplai oleh sistem PLTS, dimana proses monitoring dan pengontrolannya dapat dilakukan melalui perangkat user (PC/Laptop maupun HP) di sembarang tempat.

Setelah proses perancangan selesai, selanjutnya proses pembuatan perangkat keras seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.



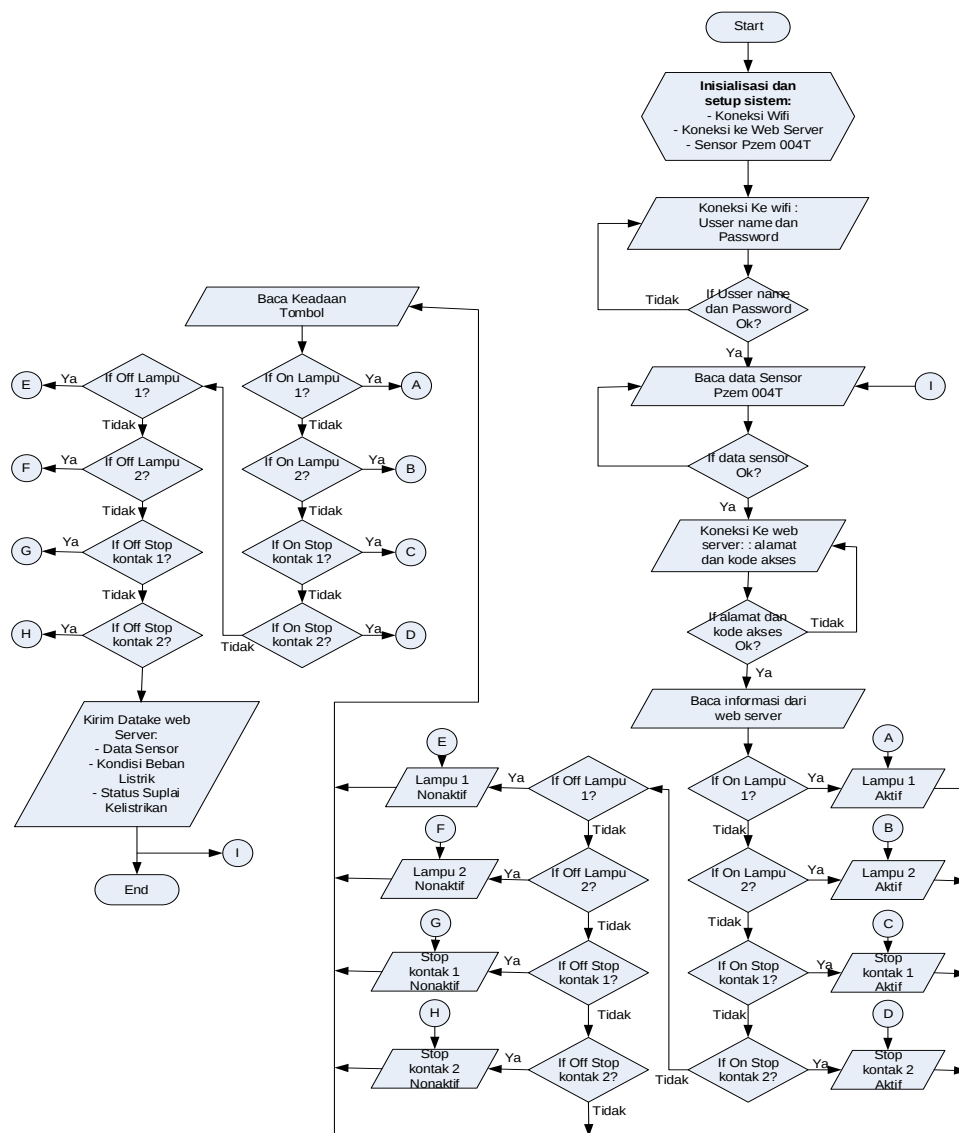
Gambar 3. Pembuatan Sistem monitoring output dan pembebanan sistem PLTS

2.2 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak

Dalam menghasilkan perangkat lunak untuk pegoperasian sistem monitoring output dan pembebanan sistem PLTS, maka langkah awal yang dilakukan adalah merancang struktur kerja sistem dalam bentuk diagram alir (*flowchart*), dimana diagram alir ini bertujuan untuk merepresentasikan urutan kerja dari sistem monitoring terhadap proses monitoring *output* kelistrikan dari sistem PLTS dan mengontrol pengoperasian beban listrik yang terkoneksi dengan sistem PLTS. Adapun diagram alir untuk pegoperasian sistem monitoring output dan pembebanan sistem PLTS diperlihatkan pada Gambar 4, dimana prosedur kerjanya sebagai berikut:

1. Saat sistem dijalankan (Start), maka sistem (kontroler) akan menjalankan bagian program untuk proses inialisasi dan *setup* sistem. Adapun bagian inialisasi sehubungan dengan pengenalan *library-library* yang akan digunakan dalam menjalankan sistem dan *variable-variable* yang digunakan dalam program. Adapun *library-library* yang digunakan terdiri dari:
2. Setelah proses inialisasi dan *setup* sistem selesai dijalankan, maka selanjutnya program akan menjalankan bagian pembacaan data sensor, dan menyimpan hasil pembacaannya di *library* yang telah ditentukan. Jika proses pembacaan data sensor gagal, maka proses akan dilakukan secara terus menerus, hingga mendapatkan data yang sesuai.
3. Selanjutnya, kontroler akan menjalankan program untuk mengkoneksikan antara kontroler dengan *web server* (*Blynk IoT*) melalui komunikasi *wifi*. Adapun proses pengkoneksian antara kontroler dengan *web server* berdasarkan hak akses melalui autentifikasi data Token ke *dashboard* yang telah dibuat. Jika koneksi ke *web server* berhasil, maka proses selanjutnya akan dikerjakan, dan jika koneksi belum berhasil, maka kontroler akan melakukan proses pengkoneksian ini secara berulang-ulang, hingga terkoneksi antara kontroler dengan *web server*.

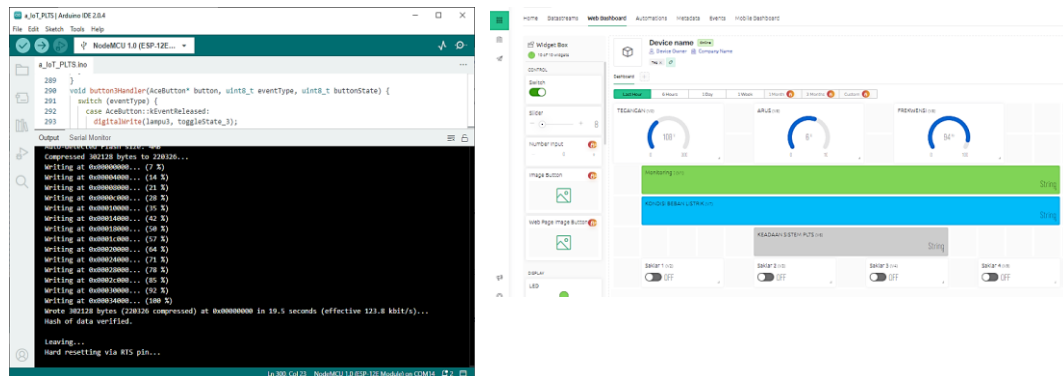
4. Saat kontroler dan *web server* telah terkoneksi, maka selanjutnya program yang dijalankan adalah bagian pembacaan informasi dari *web server*, sehubungan dengan proses pengontrolan kerja dari beban listrik, dimana hal ini sehubungan dengan pembacaan status Tombol yang berada di *web server*.
5. Bagian program selanjutnya yang dijalankan adalah bagian program untuk mengirimkan informasi ke *web server*, dimana informasi yang dikirimkan sehubungan dengan:
 - Informasi data hasil pembacaan nilai sensor yang terdiri dari nilai tegangan, nilai arus, nilai frekwensi, nilai faktor daya, nilai daya listrik, nilai energi listrik dan jumlah harga bayar dalam Rupiah berdasarkan konsumsi energi listrik dari sistem PLTS
 - Informasi sehubungan dengan status dari beban listrik, apakah dalam keadaan aktif atau dalam keadaan tidak aktif.



Gambar 4. Diagram alir untuk pegoperasian sistem monitoring output dan pembebanan sistema PLTS

Setelah proses pembuatan Algoritma kerja sistem monitoring output dan pemebebanan pada sistema PLTS selesai dilakukan, maka tahapan selanjutnya adalah tahapan pembuatan program melalui *Arduino IDE* dan tahapan pembuatan *dashboard* pada *web server*. Gambar 5

memperlihatkan proses pembuatan program melalui *Arduino IDE* dan tahapan pembuatan *dashboard* pada *web server*.



Gambar 5. Pembuatan program melalui *Arduino IDE* dan tahapan pembuatan *dashboard* pada *web server*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengujian kerja dari sistem monitoring output dan pembebanan pada sistem PLTS, dilakukan dengan menggunakan metode *Black Box* dengan cara melakukan pengujian fungsional terhadap kerja sistem yang dibuat, dalam hal fleksibilitas proses monitoring secara *real time* dan pengontrolannya yang dapat dilakukan dari jarak jauh, dengan menerapkan teknologi IoT melalui perangkat user. Disamping pengujian terhadap kinerja sistem, pengujian juga dilakukan terhadap efisiensi sistem PLTS dalam menyuplai kelistrikan ke beban listrik, berdasarkan penyesuaian beban listrik yang dapat diremote jarak jauh melalui perangkat user.

3.1. Proses Monitoring Terhadap Sistem PLTS secara real time Melalui Web Server

Saat sistem PLTS telah terkoneksi dengan *web server*, maka dapat dilakukan proses monitoring terhadap sistem PLTS, sehubungan dengan *output* yang dihasilkan oleh sistem PLTS, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Proses monitoring kondisi output dan pembebanan dari sistem PLTS secara realtime melalui perangkat Smart Phone

Dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap proses monitoring kondisi *output* pembebanan dari sistem PLTS, terlihat bahwa sistem yang dibuat dapat memonitoring kondisi *output* dari sistem PLTS melalui perangkat *user* (perangkat *Smart Phone*) jarak jauh, melalui aplikasi *web server* yang telah dibuat, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6. Adapun informasi awal proses monitoring kondisi *output* dari sistem PLTS, diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Informasi awal proses monitoring kondisi *output* dari sistem PLTS

Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Frekwensi (Hz)	Power Faktor (Cos ϕ)	Daya Listrik (Watt)	Energi Listrik (Wh)	Harga Bayar (Rp)
227	0.04	50	0.55	4.6	0.59	853.82

Dari hasil monitoring kondisi awal *output* sistem PLTS saat belum adanya pembebanan, daya listriknya terbaca sebesar 4.6 watt, arus listrik 0.04 ampere, *power factor* sebesar 0.55 dan tegangan listriknya sebesar 227 volt. Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi daya listrik yang di monitoring merupakan konsumsi daya listrik dari perangkat kontroler untuk melakukan proses monitoring dan pengontrolan sistem PLTS. Secara teoritis, untuk mendapatkan nilai terhadap besarnya daya listrik (watt) dari data: arus listrik 0.04 ampere, *power factor* sebesar 0.55 dan tegangan listrik sebesar 227 volt, adalah sebesar 4.997 watt. Nilai dari daya listrik didapat dari hasil perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Daya listrik (watt)} &= \text{Tegangan (volt)} \times \text{Power Factor (Cos } \phi) \times \text{Arus (ampere)} \\
 &= 227 \times 0.55 \times 0.04 \\
 &= 4.997 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil monitoring dan hasil perhitungan terhadap besarnya daya listrik *output* dari sistem PLTS, terlihat adanya selisih nilai sebesar 0.397 watt, sehingga dapat dihitung nilai efisiensi daya listrik dari sistem kontrol dan monitoring yang ditambahkan ke sistem PLTS sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{efisiensi sistem (\%)} &= (\text{nilai Daya Listrik hasil pengukuran} / \text{nilai Daya listrik} \\
 &\quad \text{hasil perhitungan}) \times 100\% \\
 &= (4.6 / 4.997) \times 100\% \\
 &= 0.92\%
 \end{aligned}$$

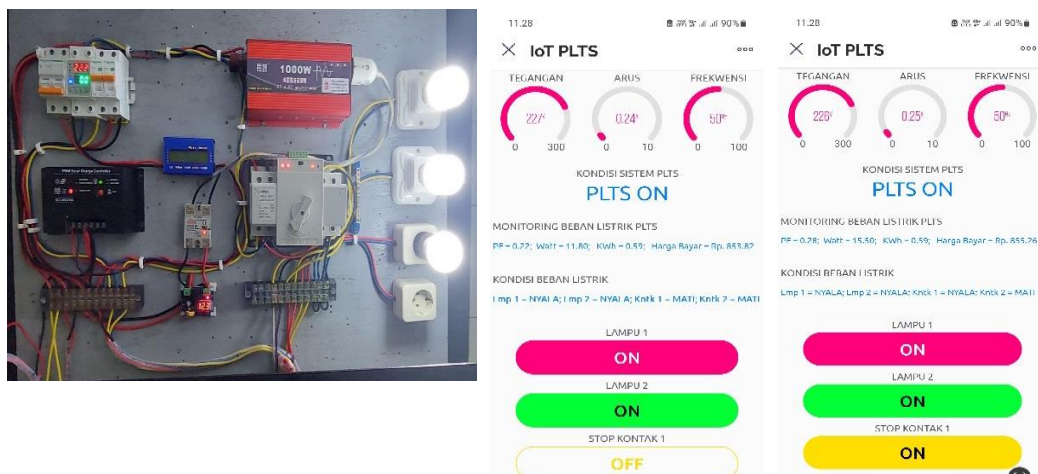
Sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk tingkat efisiensi dari konsumsi daya listrik terhadap penambahan sistem kontrol dan monitoring pada sistem PLTS, adalah sebesar 1%. Sedangkan untuk nilai *error*-nya sebesar:

$$\begin{aligned}
 \text{error sistem (\%)} &= ((\text{nilai Daya Listrik hasil perhitungan} - \text{nilai Daya listrik hasil} \\
 &\quad \text{pengukuran}) / \text{nilai Daya Listrik hasil perhitungan}) \times 100\% \\
 &= ((4.997 - 4.6) / 4.997) \times 100\% \\
 &= 0.08\%
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan nilai *error* sistem, maka dapat disimpulkan bahwa tingkat keakuratan sistem dalam memonitoring kondisi beban dari sistem PLTS adalah sebesar $\pm 0.1\%$.

Proses monitoring juga dapat dilakukan terhadap kondisi beban listrik yang terhubung dengan sistem PLTS, dimana beban-beban listrik yang terkoneksi dengan sistem PLTS mencakup: beban listrik lampu 1 dan lampu 2, beban listrik stop kontak 1 dan stop kontak 2. Pada pengujian ini, beban listrik yang digunakan adalah beban listrik lampu LED berkapasitas 4 watt. Adapun hasil pengujiannya diperlihatkan pada Gambar 7.

Dari hasil pengujian yang dilakukan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7, memperlihatkan bahwa system monitoring yang ada pada *web server*, dapat memonitoring kondisi beban listrik yang terpasang pada sistem PLTS, dimana data monitoringnya berhubungan dengan kondisi beban listrik apakah dalam keadaan aktif atau tidak, konsumsi daya listrik, konsumsi arus dan factor dayanya.



Gambar 7. Hasil Monitoring melalui *web server* kondisi beban

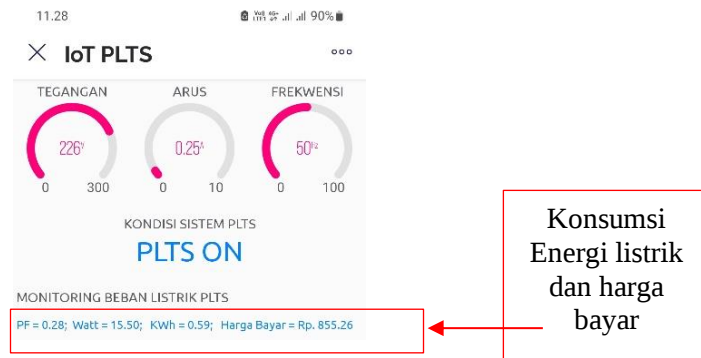
Adapun data yang didapat dari hasil pengujian untuk kondisi bebannya, diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil pengujian proses monitoring untuk kondisi beban listrik

Kondisi Pengujian Beban Listrik	Beban Listrik 1	Beban Listrik 2	Beban Listrik 3	Tegangan listrik (Volt)	Arus Listrik (Ampere)	Power Factot (Cos ϕ)	Daya Listrik (Watt)
Kondisi 1	Off	Off	Off	227	0.04	0.55	4.6
Kondisi 2	On	Off	Off	227	0.12	0.29	8.2
Kondisi 3	On	On	Off	227	0.24	0.22	11.8
Kondisi 4	On	On	On	227	0.25	0.28	15.5

Dari data pengujian hasil monitoring terhadap kondisi beban listrik yang terkoneksi dengan sistem PLTS, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2, terlihat bahwa saat semua beban listrik tidak diaktifkan, maka pembebanan dari sistem PLTS sebesar 0.04 Ampere. Saat salah satu beban listrik diaktifkan misalkan beban listrik 1, maka akan terjadi peningkatan konsumsi arus listrik yang awalnya bernilai 0.04 Ampere, menjadi 0.12 Ampere. Informasi terjadinya perubahan nilai Arus listrik menunjukkan bahwa beban listrik 1 telah aktif, sehingga *user* dapat mengetahui bahwa beban listrik 1 yang diaktifkan telah aktif. Jika tidak terjadi perubahan nilai arus, walaupun informasi yang diterima di *web server* menunjukkan bahwa beban listrik 1 telah aktif, maka *user* dapat menyimpulkan bahwa terjadi masalah pada beban listrik tersebut, sehingga *user* dapat melakukan perawatan terhadap beban listrik yang rusak tersebut.

Pada bagian *web server* juga, *user* dapat memantau/memonitoring besarnya konsumsi energi listrik terhadap pengoperasian sistem PLTS dalam menyuplai beban listrik. Disamping itu juga, *user* dapat memonitoring besarnya nilai Rupiah yang akan dibayarkan berdasarkan konsumsi energi listriknya. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan seperti pada Gambar 8, terlihat bahwa besarnya konsumsi energi listrik dari sistem PLTS adalah sebesar 0.59 KWh, dengan harga bayarnya bernilai Rp. 855.26.



Gambar 8. Monitoring konsumsi energi listrik dan harga bayar

Adapun besarnya harga bayar berdasarkan konsumsi energi listrik yang disuplai oleh sistem PLTS, didapatkan dari:

- Energi listrik (Wh) dari system PLTS sebesar 590 Wh (0.59 KWh)
- Tarif dasar listrik (TDL) PLN untuk Golongan Tarif R-1 dengan daya 1.300 VA sebesar Rp. 1.444,70

Berdasarkan data diatas, dapat dihitung besarnya nilai Rupiah dari konsumsi Energi listrik beban yang terkoneksi dengan sistem PLTS adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Pembayaran listrik (Rp)} &= \text{Tarif R-1 dengan daya 1.300 VA} \times \text{Besarnya energi listrik (Wh)} \\ &= \text{Rp. 1.444,70} \times 590 \text{ Wh} \\ &= \text{Rp. 852,373} \end{aligned}$$

Jika pengoperasian sistem PLTS dalam sehari diasumsikan selama 8 jam (jam 11.00 sampai dengan jam 19.00), dengan asumsi beban listrik yang terpasang pada sistema PLTS sebesar 300 watt, maka energi listrik yang disuplai melalui sistem PLTS dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Besarnya energi listrik (Wh) PLTS} &= 300 \text{ Watt} \times 8 \text{ Jam} = 2.400 \text{ Wh} \\ &= 2.4 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Maka, besarnya biaya listrik dalam sehari yang ditanggung oleh sistem PLTS dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Pembayaran listrik} &= \text{Tarif R-1 dengan daya 1.300 VA} \times \text{Besarnya energi listrik (Wh)} \\ &= \text{Rp. 1.444,70} \times 2.400 \text{ Wh} \\ &= \text{Rp. 3.476,28} \end{aligned}$$

Berdasarkan asumsi diatas, maka dalam sehari sistema PLTS akan menunjang kebutuhan listrik sebesar 2.400 Wh (2,4 KWh), dengan penghematan pembayaran dalam Rupiah sebesar Rp. 3.476.

3.2. Proses Monitoring Terhadap Sistem PLTS Melalui Tempat PLTS Terpasang

Proses monitoring terhadap *output* dari system PLTS sehubungan dengan besarnya tegangan listrik, Arus Listrik, Daya listrik dan Energi listrik. Proses monitoring dilakukan melalui media penampil LCD, dimana datanya diolah oleh kontroler *Arduino Uno*, berdasarkan inputan dari sensor PZEM 004t. Adapun hasil pengujian untuk proses monitoring terhadap *output* kelistrikan dari sistem PLTS diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Monitoring *output* system PLTS di lokasi PLTS terpasang

Dari hasil pengujian yang dilakukan, sistem kontrol dan monitoring pada sistem PLTS, dapat memonitoring kondisi pembebanan dari sistem PLTS, sehubungan dengan *output* kelistrikan yang mencakup: tegangan listrik, Arus Listrik, Daya listrik dan Energi listrik.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap implementasi sensor PZEM 004t pada sistem PLTS untuk proses monitoring terhadap kondisi output dan pembebanannya, maka dapat disimpulkan bahwa, dengan diimplementasikannya sensor PZEM 004t pada sistem PLTS sebagai media memonitoring kondisi output dan pembebanan pada sistem PLTS dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi listrik, dimana salah satu keunggulan terhadap pemanfaatan sensor PZEM 004t yaitu berhubungan dengan informasi data pendeteksian output dan pembebanan kelistrikan dari sistem PLTS, yang meliputi informasi nilai Arus, tegangan, daya Listrik dan energi Listrik, sehingga pengguna dapat melakukan proses monitoring secara *realtime* terhadap sistem PLTS yang terpasang. Seperti contoh, Saat sistem PLTS dalam kondisi aktif, pengguna dapat memonitoring kondisi beban yang terhubung dengan sistem PLTS, dimana jika pengguna lupa untuk menonaktifkan salah satu peralatan listrik, maka pengguna dapat mengetahuinya melalui informasi yang dikirimkan melalui kontroler ke *web server*, berdasarkan pendeteksian nilai arus dari sensor PZEM 004t, sehingga pengguna dapat melakukan pengontrolan jarak jauh terhadap beban Listrik tersebut untuk menonaktifkannya melalui perangkat *Smartp Phone*-nya, tanpa harus ke lokasi tempat sistem PLTS terpasang, sehingga dapat menghindari terjadinya pemborosan listrik. Pengguna juga dapat mengaktifkan peralatan listrik jarak jauh jika dibutuhkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Manado yang telah mendanai penelitian ini, dan kepada rekan-rekan baik peneliti rekan-rekan dosen yang telah berkontribusi dalam penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, H., Hasan, S. (2013). Performance monitoring of PV plants in different environmental conditions, *International Journal of Renewable Energy Research*, 3(3), 540-548.
- Faisal Afif, Awaludin Martin, (2022), Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia, *Jurnal Engine*, Vol. 6, No. 1, Hal. 43-52
- K. Padmayathi, S. Arul Daniel, (2013), Performance analysis of a 3 MW_p grid connected solar photovoltaic power plant in India, *Energi For Sustainable Development*, Vol. 16, Issue 6, <https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.09.002>
- Linna Oktaviana Sari, M. Fajar Edwin Saputra, Ery Safrianti, (2024), Sistem Monitoring Arus Listrik Berbasis Internet of Things (IoT) pada Solar Panel di Laboratorium Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) UIN Suska Riau, *Indonesian Journal Of Machine Learning And Computer Science*, Vol. 4, No. 1, DOI: <https://doi.org/10.57152/malcom.v4i1.1033>

- Mohamad Nursamsi Adiwiranto, Catur Budi Waluyo, Bambang Sudibya, (2022), Prototipe Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Serta Estimasi Biaya Pada Peralatan Rumah Tangga Berbasis Internet Of Things, Jurnal Edukasi Elektro, Vol. 6, No. 1, Hal. 32-41.
- Musthofa, Ujang Rahman, (2020), Sistem Monitoring Online Real Time Beban Unbalance dan Overload Trafo Distribusi di PT PLN (Persero), Energi dan Kelistrikan: Jurnal Ilmiah, Vol. 12, No. 2, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042, <https://doi.org/10.33322/energi.v12i2.1163>
- Rizki Wahyu Pratama, Aminur, Sugeng Pramudibyo, Dean Corio Rosnita Rauf, Muhammad Ihsan Mukrim, Zulka Hendri, (2023), Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Daerah Kepulauan, Yayasan Kita Menulis, ISBN : 978-623-113-085-3
- Setyo Yuwono, Diharto, Nugroho Wahyu Pratama, (2021), Manfaat Pengadaan Panel Surya dengan Menggunakan Metode On Grid, Energi dan Kelistrikan: Jurnal Ilmiah, Vol. 13, No. 2, P-ISSN 1979-0783, E-ISSN 2655-5042, <https://doi.org/10.33322/energi.v13i2.1537>
- Siva Ramakrishna Medati, S.N. Singh, (2017), Monitoring system for photovoltaic plants: A review, Renewable and Sustainable Energi, 67(6): 1180-1207, DOI: 10.1016/j.rser.2016.09.088
- Sofian Manahara, Sheila Kusuma Putri, Imaniar Septa Kencana W, (2023), Tantangan transisi energi terbarukan di Indonesia: (Studi kasus PLTS di Kabupaten Cilacap), Journal of Innovation Materials Energy and Sustainable Engineering, DOI: 10.61511/jimese.v1i1.2023.259
- W. T. Hartman, A. Hansen, E. Vasquez, S. El-Tawab and K. Altaii, (2018), Energy monitoring and control using Internet of Things (IoT) system, Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS), Charlottesville, VA, USA, 2018, pp. 13-18, doi: 10.1109/SIEDS.2018.8374723.
