

Desain Sistem Smart Energy Meter dengan Indikator Pencurian Listrik berbasis Python QML

Design of a Smart Energy Meter System with an Electricity Theft Indicator Based on Python QML

Iffan Nur Ilman Syarifudin^{1*}, Arjuni Budi Pantjawati², Aip Saripudin³

^{1,2,3}Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Dr. Setiabudi No. 229 Kota Bandung, 40154

iffanurilman@upi.edu^{1*}, arjunib@upi.edu², aipsaripudin@upi.edu³

Abstrak – Dewasa ini, konsumsi energi listrik semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk. Oleh karena itu, penggunaan energi yang efisien dan pengelolaan yang cerdas menjadi semakin penting. Smart energy meter berbasis Internet of Things merupakan sistem yang banyak dikembangkan untuk memantau energi secara efisien dan cerdas. Sistem ini dirancang untuk dapat memantau penggunaan energi listrik, baik dalam skala rumah tangga maupun industri. Pada artikel ini, desain smart energy meter berbasis Python QML (Qt Meta-Object Language) diusulkan. Smart energy meter yang dikembangkan mampu mengukur dan memantau konsumsi energi listrik secara real-time serta dapat mendeteksi indikasi pencurian energi listrik. Python QML digunakan sebagai antarmuka smart energy meter yang akan menampilkan data dari MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). Kinerja smart energy meter diuji dengan membandingkan hasil pengukuran tegangan dan arus menggunakan smart energy meter dan multimeter secara bersamaan. Sementara itu, kemampuan sistem untuk mendeteksi indikasi pencurian energi listrik diuji dengan membuat rangkaian pencurian listrik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan mampu mengukur tegangan dan arus listrik dengan akurasi berturut-turut 99,10 % dan 99,36 %. Sistem yang diusulkan juga dapat mendeteksi indikasi pencurian listrik.

Kata Kunci: internet of things, konsumsi energi, pencurian energi listrik, python QML, smart energy meter.

Abstract – Nowadays, electricity consumption is increasing along with population growth. Therefore, efficient energy use and intelligent management are becoming increasingly important. Smart energy meters based on the Internet of Things are widely developed systems for monitoring energy efficiently and intelligently. These systems are designed to monitor electricity usage, both at the household and industrial scales. In this article, a smart energy meter design based on Python QML (Qt Meta-Object Language) is proposed. The developed smart energy meter can measure and monitor real-time electricity consumption and detect indications of electricity theft. Python QML is used as the interface for the smart energy meter, displaying data from MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). The performance of the smart energy meter is tested by comparing the measurement results of voltage and current using the smart energy meter and a multimeter simultaneously. Meanwhile, the system's ability to detect indications of electricity theft is tested by creating a simulated electricity theft circuit. The test results show that the proposed system can measure voltage and current with accuracies of 99.10% and 99.36%, respectively. The proposed system can also detect indications of electricity theft.

Keywords: electricity theft, energy consumption, internet of things, python QML, smart energy meter.

1. Pendahuluan

Penggunaan energi semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan industri. Sementara itu, sumber daya seperti bahan bakar fosil semakin menipis. Oleh karena itu, diperlukan penggunaan energi yang efisien. Untuk meningkatkan efisiensi energi, konsumen harus menyadari bagaimana mengelola energi secara bijaksana dan efisien [1], [2]. Peningkatan besar dalam permintaan energi menciptakan banyak kesulitan bagi keamanan energi dan lingkungan [3].

Hilangnya energi listrik merupakan salah satu masalah penting yang harus diperhatikan dalam jaringan distribusi. Hal ini dapat dideteksi dengan melihat perbedaan daya ketika didistribusikan dari sumber pembangkit menuju ke rumah konsumen. Rugi-rugi daya ini dapat dibedakan menjadi rugi-rugi teknis dan non-teknis. Sebagian besar kerugian listrik merupakan kerugian non-teknis yang disebabkan oleh pencurian listrik sehingga mengakibatkan kerugian finansial yang besar. Konsumen melakukan pencurian listrik dengan berbagai cara yang meliputi *meter bypass*, *direct line hooking*, *meter tampering*, dll.[4].

Smart Energy Meter (SEM) merupakan salah satu solusi cerdas untuk mengatasi permasalahan terkait pemantauan dan pengelolaan energi. SEM merupakan perangkat yang dapat mengukur dan memantau konsumsi energi oleh konsumen secara real-time [5], [6]. Berbeda dengan alat ukur konvensional, SEM memanfaatkan teknologi canggih untuk mengukur berbagai parameter kelistrikan seperti arus, tegangan, frekuensi, daya, faktor daya, dan konsumsi energi. Variabel listrik ini memainkan peran penting dalam manajemen beban, analisis gangguan, dan profil beban [7].

SEM berbasis Internet of Things (IoT) telah dikembangkan oleh beberapa peneliti, di antaranya adalah M.H. Yagmaee dkk. [8]. Jaringan energi masa depan perlu diimplementasikan dalam topologi terdistribusi secara dinamis yang dapat mengakomodasi berbagai sumber energi. Dalam penelitiannya dijelaskan bahwa SEM diperlukan untuk mengumpulkan informasi tentang konsumsi energi peralatan rumah tangga, memantau parameter lingkungan, dan memberikan layanan yang dibutuhkan oleh pelanggan perumahan.

Sistem monitoring meter energi menggunakan Raspberry Pi yang dapat dipasang pada meter elektronik yang ada dikembangkan oleh Kamatagi dkk. [9]. Informasi diperoleh melalui aplikasi Android. Android Studio mendukung Extensible Markup Language (XML) dan Java untuk desain aplikasi. Taimur dkk. membuat sistem *monitoring* yang dapat memantau secara cerdas terhadap infrastruktur distribusi listrik dan data konsumsi menggunakan Raspberry Pi sebagai prosesor utama dan PZEM-004t sebagai sensor untuk mengukur parameter listrik [10]. Sistem tersebut dapat melakukan pemantauan secara real-time dan dapat mendeteksi pencurian listrik berdasarkan data konsumsi daya yang telah dikirimkan ke mikroprosesor.

Patel dkk. memperkenalkan smart meter menggunakan GSM *shield* dengan sensor *light-dependent resistor* (LDR) dan relay dengan memodifikasi meteran yang sudah ada [11]. Informasi diberikan kepada pengguna melalui fitur *Short Message Service* (SMS). Sistem pemantauan dan deteksi pencurian listrik secara real-time yang mampu mendeteksi pencurian listrik pada sistem distribusi dikembangkan oleh Celimpo dkk. [12]. Sistem yang digunakan terdiri dari mikrokontroler Atmega328P dengan modul GSM (*Global System for Mobile Communication*) yang digunakan untuk komunikasi sistem. Ajay dkk. membuat SEM dengan GSM sebagai penyedia jaringan pembacaan meteran [13]. Sistem dapat mengirimkan informasi seperti konsumsi energi, biaya yang dihasilkan, dan layanan keamanan melalui modul GSM serta pencurian listrik dapat dideteksi secara otomatis melalui sensor getaran. Informasi terkait pengukuran listrik ditampilkan pada GSM (virtual terminal) *results* dan layar LCD (*liquid crystal display*).

Chowdary dkk. menyajikan meteran pintar menggunakan ZigBee [14]. Pemancar ZigBee secara berkala akan mengirimkan data konsumsi energi ke *gateway* melalui jaringan ZigBee, yang diunggah ke *cloud* dan diakses oleh penyedia utilitas menggunakan koneksi internet.

Aplikasi berbasis IoT menggunakan berbagai protokol pesan untuk tujuan komunikasi [16]. MQTT adalah protokol publikasi/berlangganan [15], [16]. MQTT dirilis oleh IBM pada tahun

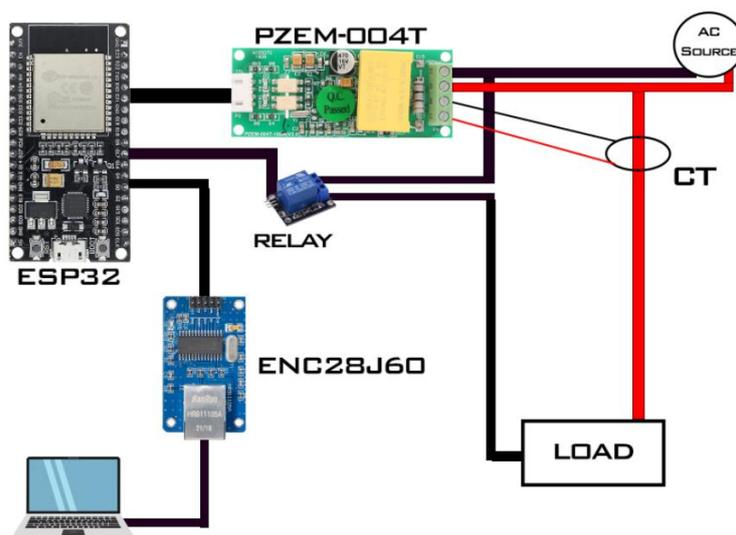
1999. MQTT dirancang untuk mengirimkan data dengan akurasi tinggi, penundaan rendah, dan penggunaan bandwidth rendah [17].

Python adalah bahasa pemrograman *open source* yang cocok untuk pemrograman tujuan umum dan mudah dipelajari [18]. Dibandingkan dengan bahasa pemrograman lain seperti C, C++, atau Java, Python menyederhanakan pengembangan program yang kompleks [19]. Qt adalah antarmuka yang diimplementasikan dalam C++. Ini memungkinkan antarmuka diimplementasikan dengan Python. Dalam pengembangan antarmuka Qt, ada dua cara: QtWidgets dan QtQuick. QtWidgets merupakan implementasi asli dari Qt, cocok untuk aplikasi *desktop* tradisional. QtQuick dan QML mewakili pendekatan baru untuk menciptakan antarmuka pengguna. QtQuick berfungsi sebagai perpustakaan, sedangkan QML berfungsi sebagai antarmuka pengguna dan bahasa pemrograman [20]. Python QML dipilih karena mudah untuk dipelajari, termasuk pemrograman *open source*, sederhana, dan bebas untuk berkreasi dalam membuat tampilan antarmuka sesuai dengan keperluan. Selain itu, penelitian tentang Python QML sangat jarang ditemukan. Pemrograman *frontend* dan *backend* pada Python QML dibuat secara terpisah namun harus berada dalam satu *folder* yang sama. Pemrograman *frontend* dan *backend* yang terpisah memudahkan pengguna untuk melakukan *troubleshooting* apabila terdapat *error* pada program.

Penelitian ini difokuskan pada desain sistem SEM berbasis Python QML. Sistem yang dikembangkan menampilkan hasil pengukuran berbagai besaran energi listrik secara *real-time*. Selain itu, sistem ini juga didesain untuk bisa mendeteksi adanya indikasi pencurian energi listrik.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan membuat desain Python QML sebagai antarmuka SEM. Desain yang diusulkan dapat mengukur besaran listrik dari dua rumah secara bersamaan. Pengujian sistem dilakukan dengan cara mengukur tegangan dan arus menggunakan SEM dan multimeter secara bersamaan. Uji coba deteksi pencurian energi listrik dilakukan dengan cara membuat rangkaian *bypass* dari jalur sebelum memasuki meteran listrik di rumah konsumen. Diagram skematik ditampilkan pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram skematik dari SEM

2.1. Konfigurasi Devais

Gambar 1 menunjukkan diagram skematik dari SEM. Komponen pada SEM terdiri dari ESP32 sebagai prosesor utama, sensor PZEM-004t untuk mengukur tegangan, arus, daya, faktor daya, dan konsumsi energi, IC ethernet ENC28J60 sebagai penghubung antara SEM dan

PC/laptop, PC/laptop sebagai *display*, dan relay sebagai saklar. Hasil pengukuran dari sensor akan dikirimkan ke mikrokontroler, kemudian akan dikirimkan ke IC ethernet yang terhubung dengan PC/laptop dan akan ditampilkan pada antarmuka SEM.

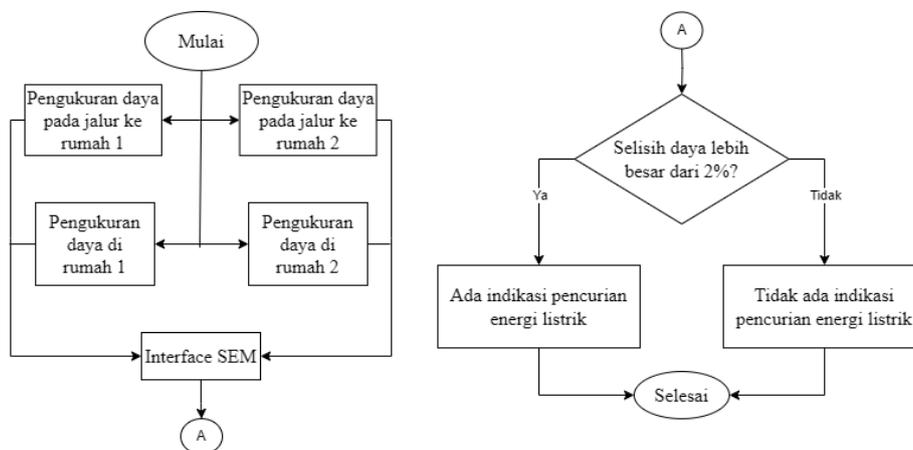
2.2. Desain Antarmuka

Antarmuka dari SEM yang dibuat menggunakan Python QML terdiri dari 2 bagian. Bagian pertama yaitu membuat pemrograman Python QML pada bagian *backend*. Agar dapat menggunakan properti dari Python QML, perlu memanggil library PyQt5 untuk menghubungkan pemrograman Python QML bagian *frontend* dengan *backend*. Terdapat pula library MQTT serta alamat broker MQTT untuk sistem *localhost* agar antarmuka dapat terhubung dengan MQTT.

Pada bagian kedua yaitu membuat pemrograman Python QML untuk *frontend*. Di bagian ini dilakukan pembuatan tampilan antarmuka SEM. Antarmuka SEM menampilkan tegangan, arus, daya, faktor daya, dan konsumsi energi berupa angka dan *gauge*. Ukuran, warna, dan batas maksimal nilai ditentukan pada bagian pemrograman *frontend*.

2.3. Eksperimen

Terdapat dua percobaan yang dilakukan untuk menguji kinerja dari sistem SEM yang diusulkan. Pada percobaan pertama, dilakukan pengujian akurasi pengukuran tegangan, arus, daya, faktor daya, dan konsumsi energi menggunakan 5 buah lampu 220 V/20 W yang terhubung secara paralel. Namun, pengukuran dilakukan secara masing-masing untuk 1 lampu, 2 lampu secara paralel, 3 lampu secara paralel, 4 lampu secara paralel, dan 5 lampu secara paralel. Pengukuran dilakukan sebanyak lima kali dengan menggunakan SEM dan multimeter secara bersamaan. Lalu pada percobaan kedua, dilakukan pengujian kemampuan desain Python QML pada sistem SEM untuk mendeteksi indikasi pencurian energi listrik yang dilakukan dengan cara *bypass* meteran listrik. Indikasi pencurian energi listrik yang ditampilkan berupa persentase perbedaan pengukuran daya antara jalur distribusi dengan rumah konsumen.



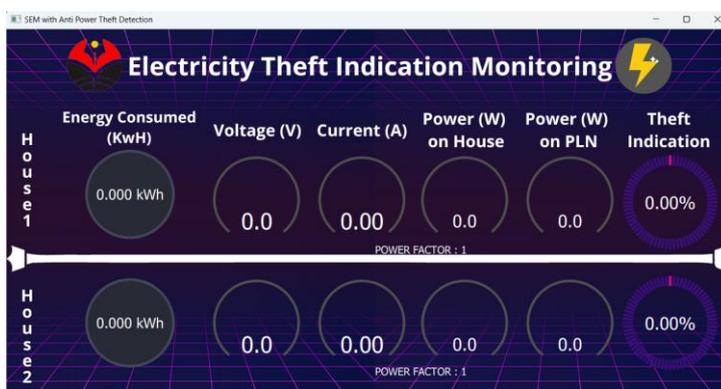
Gambar 2. Diagram alir uji indikasi pencurian energi listrik

Gambar 2 menampilkan diagram alir uji coba SEM. Listrik yang berasal dari gardu distribusi menuju ke trafo step down dan didistribusikan menuju ke konsumen melalui jalur masing-masing rumah. Pada jalur sebelum memasuki rumah konsumen, dipasang sensor untuk mengukur daya sebelum memasuki rumah konsumen. Kemudian di rumah konsumen dipasang pula SEM untuk mengukur tegangan, arus, daya, faktor daya, dan konsumsi energi rumah tersebut. Data pengukuran SEM kemudian dikirim menuju PC/laptop petugas berwenang, data tersebut diterima oleh protokol MQTT. Data dari MQTT ditampilkan pada antarmuka SEM. Apabila selisih daya yang terukur oleh SEM pada jalur menuju rumah konsumen dan daya yang terukur oleh SEM di rumah konsumen lebih besar daripada 2% [21], diindikasikan telah terjadi pencurian energi listrik. Nilai 2% disini merupakan toleransi dari error yang terjadi pada pengukuran sensor untuk rugi

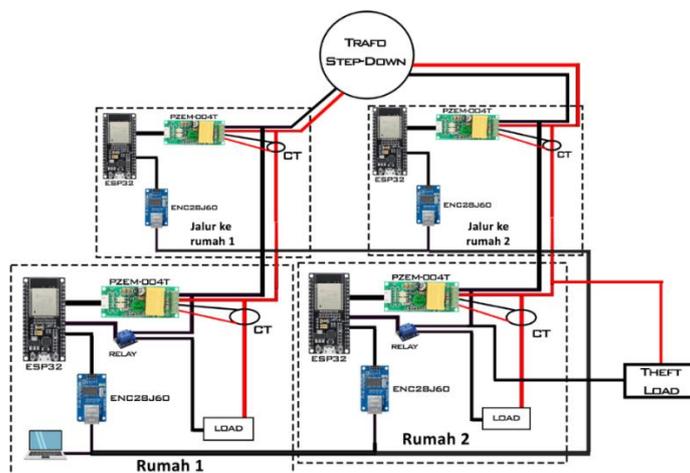
daya non teknis. Sementara untuk implementasi yang di lapangan perlu perhitungan rugi daya secara teknis sepanjang kabel dari output trafo step-down sampai masuk ke rumah konsumen. Pada sistem SEM ini, perhitungan untuk rugi daya secara teknis diabaikan karena jarak jalur menuju rumah konsumen terlampau pendek.

3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 3 menampilkan hasil desain antarmuka SEM. Besaran listrik yang ditampilkan di antaranya *voltage* (tegangan), *current* (arus), *power on house* (daya pada rumah), *power on PLN* (daya pada jalur sebelum masuk ke rumah), *energy consumed* (konsumsi energi), dan *theft indication* (indikator pencurian energi listrik). Tampilan tersebut dibuat untuk menampilkan data pengukuran dari dua rumah konsumen.



Gambar 3. Tampilan antarmuka SEM



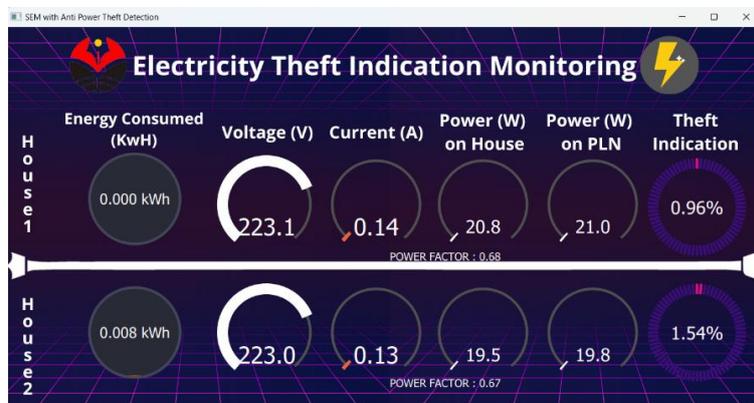
Gambar 4. Diagram blok pengujian sistem

Diagram blok pengujian sistem SEM dan eksperimen secara nyata masing-masing diperlihatkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Ketika lampu dinyalakan, hasil pengukuran berupa tegangan, arus, daya pada rumah, daya pada jalur sebelum masuk ke rumah, konsumsi energi, dan indikator pencurian energi listrik muncul pada antarmuka SEM (Gambar 6). Sementara itu, sebelum masuk ke antarmuka, data hasil pengukuran diterima terlebih dahulu oleh MQTT (Gambar 7).

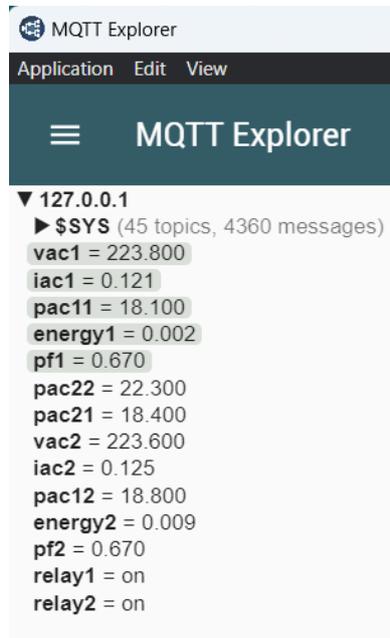
Seperti yang dapat dilihat pada gambar 6, hasil pengukuran daya antara sensor pada jalur ke rumah 1 dengan sensor di rumah 1 memiliki persentase perbedaan pengukuran daya sebesar 0,96%. Sedangkan perbedaan pengukuran daya dari sensor pada jalur ke rumah 2 dengan sensor di rumah 2 sebesar 1,54%. Ini berarti bahwa rumah konsumen 1 dan rumah konsumen 2 tidak terindikasi melakukan pencurian energi listrik karena persentasenya kurang dari 2%.



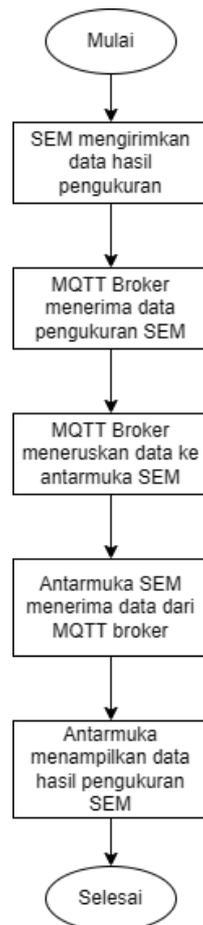
Gambar 5. Pengujian desain antarmuka SEM



Gambar 6. Hasil pengukuran SEM pada desain antarmuka



Gambar 7. Hasil pengukuran SEM pada protokol MQTT



Gambar 8. Diagram alir transmisi data MQTT

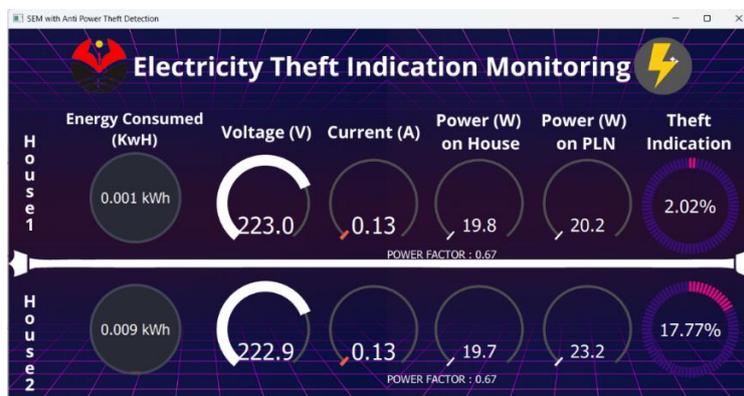
Gambar 8 menampilkan diagram alir transmisi data MQTT. SEM mengirimkan data hasil pengukuran sesuai topik yang telah ditentukan untuk MQTT, yakni “vac” untuk tegangan, “iac” untuk arus, “pac” untuk daya, “energy” untuk konsumsi energi, dan “pf” untuk faktor daya. Data hasil pengukuran diterima oleh MQTT Broker untuk selanjutnya diteruskan ke antarmuka SEM. Antarmuka SEM menampilkan data hasil pengukuran sesuai dengan indikator yang ditampilkan.

Tabel 1. Hasil pengukuran tegangan dan arus oleh SEM dan multimeter.

Lampu (buah)	Tegangan Efektif (V)		Arus Efektif (A)		Selisih Pengukuran Tegangan (%)	Selisih Pengukuran Arus (%)
	SEM	Multimeter	SEM	Multimeter		
1	226,64	224,64	0,118	0,119	0,89	0,84
2	226,62	224,64	0,241	0,239	0,88	0,75
3	226,56	224,58	0,376	0,375	0,88	0,43
4	226,42	224,42	0,494	0,491	0,89	0,61
5	226,32	224,18	0,602	0,599	0,95	0,57

Tabel 1 menampilkan pengukuran tegangan dan arus efektif oleh SEM dan multimeter secara bersamaan. Untuk setiap lampu dilakukan pengukuran sebanyak 5 (lima) kali. Akan tetapi yang ditampilkan pada tabel merupakan rata-ratanya. Tampak bahwa selisih tegangan listrik yang terbaca oleh SEM dan multimeter bervariasi dari 0,89% sampai dengan 0,95%, dengan rata-rata sebesar 0,90% atau akurasi 99,10%. Sedangkan selisih arus listrik yang terbaca oleh SEM dan multimeter bervariasi dari 0,57% sampai dengan 0,84%, dengan rata-rata sebesar 0,64% atau akurasi 99,36%. Besar perbedaan ini masih bisa ditoleransi karena memiliki persentase rata-rata kurang dari 2% atau akurasi di atas 98% [21]. Hasil ini menunjukkan bahwa desain sistem SEM

berbasis Python QML telah bekerja dengan baik serta memiliki akurasi yang memenuhi syarat batas toleransi.



Gambar 9. Hasil uji coba kemampuan mendeteksi indikasi pencurian energi listrik

Pada Gambar 9 diperlihatkan hasil uji coba kemampuan mendeteksi indikasi pencurian energi listrik. Indikator pencurian energi listrik pada rumah 1 sebesar 2,02%. Sementara itu, indikator pencurian energi listrik pada rumah 2 sebesar 17,77%. Nilai indikator pencurian energi listrik sebesar 2,02% masih dalam batas toleransi 2% sehingga rumah 1 tidak terindikasi melakukan pencurian energi listrik. Di lain pihak, nilai indikator pencurian energi listrik sebesar 17,77% menunjukkan bahwa rumah 2 terindikasi melakukan pencurian energi listrik.

4. Kesimpulan

Desain sistem SEM dengan indikator pencurian listrik berbasis Python QML telah berhasil dibuat. Antarmuka SEM dapat menampilkan indikator tegangan listrik, arus listrik, daya pada *output* trafo *step-down*, daya pada rumah konsumen, faktor daya, konsumsi energi, dan indikasi pencurian listrik. Antarmuka SEM dapat menampilkan hasil pengukuran besaran listrik dengan tingkat akurasi yang tinggi, yakni 99,10% untuk pengukuran tegangan listrik dan 99,36% untuk pengukuran arus listrik. Sistem SEM yang diusulkan mampu untuk mendeteksi adanya indikasi pencurian energi listrik.

Alat yang dikembangkan pada penelitian ini berupa prototipe. Sensor terhubung dengan PC/laptop secara *wired* sehingga komunikasi ke server MQTT yang digunakan berupa *localhost*. Adapun perhitungan rugi daya secara teknis perlu dilakukan pada implementasi di lapangannya untuk menentukan perhitungan indikator pencurian energi listrik. Untuk penelitian selanjutnya, kabel ethernet dapat diganti dengan *fiber optic* (FO).

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat dari Universitas Pendidikan Indonesia serta berkolaborasi dengan PT. Syergie Indoprima.

Referensi

- [1] Q. Malik. A. Zia. R. Ahmad. M. A. Butt. and Z. Ahmad Javed. "Design and Operation of Smart Energy Meter for Effective Energy Utilization in Smart Cities." 2019 IEEE Conf. Sustain. Util. Dev. Eng. Technol. CSUDET 2019. pp. 219–223. 2019. doi: 10.1109/CSUDET47057.2019.9214750.
- [2] D. B. Avancini. J. J. P. C. Rodrigues. R. A. L. Rabêlo. A. K. Das. S. Kozlov. and P. Solic. "A new IoT-based smart energy meter for smart grids." Int. J. Energy Res.. vol. 45. no. 1. pp. 189–202. 2021. doi: 10.1002/er.5177.
- [3] Q. Sun et al.. "A Comprehensive Review of Smart Energy Meters in Intelligent Energy Networks." IEEE Internet Things J.. vol. 3. no. 4. pp. 464–479. 2016. doi:

- 10.1109/JIOT.2015.2512325
- [4] M. J. Jeffin. Madhu. G. M. Akshayata. Rao. Gurpreet Singh. and C. Vyjayanthi. "Internet of Things Enabled Power Theft Detection and Smart Meter Monitoring System." *Int. Conf. on Communication and Signal Processing.* pp. 262-267. 2020.
- [5] W. A. Jabbar. S. Annathurai. T. A. Tajul. and M. F. Mohd Fauzi. "Smart energy meter based on a long-range wide-area network for a stand-alone photovoltaic system." *Expert Syst. Appl.* vol. 197. no. February. p. 116703. 2022. doi: 10.1016/j.eswa.2022.116703.
- [6] Girija. Paván. Trupthi. Mouna. and M. J. Kumari. "Design of Smart Energy Meter for Intelligent Energy Network." *Ijrti.* vol. 5. no. 2. p. 6. 2020. [Online]. Available: www.ijrti.org
- [7] M. U. Saleem. M. R. Usman. and M. Shakir. "Design. Implementation. and Deployment of an IoT Based Smart Energy Management System." *IEEE Access.* vol. 9. pp. 59649–59664. 2021. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3070960.
- [8] M. H. Yaghmaee and H. Hossein. "Design and Implementation of an Internet of Things Based Smart Energy Metering." *2018 6th IEEE Int. Conf. Smart Energy Grid Eng. Des.* pp. 191–194. 2018.
- [9] M. A. P. Kamatagi. M. R. B. Umadi. and M. S. Sujit. "Development of Energy Meter Monitoring System (EMMS) for Data Acquisition and Tampering Detection using IoT." *Proc. CONECCT 2020 - 6th IEEE Int. Conf. Electron. Comput. Commun. Technol.* pp. 1–6. 2020. doi: 10.1109/CONECCT50063.2020.9198495.
- [10] T. S. Gill et al., "IoT Based Smart Power Quality Monitoring and Electricity Theft Detection System," in *ICET 2021 - 16th International Conference on Emerging Technologies 2021, Proceedings, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021.* doi: 10.1109/ICET54505.2021.9689908.
- [11] H. K. Patel. T. Mody. and A. Goyal. "Arduino Based Smart Energy Meter using GSM." *Proc. - 2019 4th Int. Conf. Internet Things Smart Innov. Usages. IoT-SIU 2019.* 2019. doi: 10.1109/IoT-SIU.2019.8777490.
- [12] C. L. Zulu and O. Dzobo, "Real-time power theft monitoring and detection system with double connected data capture system," *Electrical Engineering*, vol. 105, no. 5, pp. 3065–3083, Oct. 2023, doi: 10.1007/s00202-023-01825-3.
- [13] A. Anand, Y. Chaudhary, R. Mukherjee, and A. Yadav, "GSM Based Smart Energy Meter with Theft Detection and Load Control," in *2021 7th International Conference on Signal Processing and Communication, ICSC 2021, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021,* pp. 59–62. doi: 10.1109/ICSC53193.2021.9673274.
- [14] S. S. Chowdary. M. A. Abd El Ghany. and K. Hofmann. "IoT based wireless energy efficient smart metering system using zigbee in smart cities." *2020 7th Int. Conf. Internet Things Syst. Manag. Secur. IOTSMS 2020.* pp. 1–4. 2020. doi: 10.1109/IOTSMS52051.2020.9340230.
- [15] B. Khan and C. Pirak. "Experimental Performance Analysis of MQTT and CoAP Protocol Usage for NB-IoT Smart Meter." *Proceeding 2021 9th Int. Electr. Eng. Congr. iEECON 2021.* pp. 65–68. 2021. doi: 10.1109/iEECON51072.2021.9440273.
- [16] G. Ramyasri. G. Ramana Murthy. S. Itapu. and S. Mohan Krishna. "Data transmission using secure hybrid techniques for smart energy metering devices." *e-Prime - Adv. Electr. Eng. Electron. Energy.* vol. 4. no. February. p. 100134. 2023. doi: 10.1016/j.prime.2023.100134.
- [17] D. Soni and A. Makwana. "a Survey on Mqtt:." *Conf. Pap.* vol. Vol. 20. no. April. pp. 173–177. 2017. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/316018571>
- [18] C. R. Harris et al.. "Array programming with NumPy." *Nature.* vol. 585. no. 7825.

- pp. 357–362. 2020. doi: 10.1038/s41586-020-2649-2.
- [19] E. Santamaría-Vázquez et al.. “MEDUSA©: A novel Python-based software ecosystem to accelerate brain-computer interface and cognitive neuroscience research.” *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 230. 2023. doi: 10.1016/j.cmpb.2023.107357.
- [20] I. Sinkarenko, S. Zanzottera, and V. Baggiolini. “OUR JOURNEY FROM JAVA TO PYQT AND WEB FOR CERN ACCELERATOR CONTROL GUIS CRITERIA FOR SELECTING A NEW GUI”. doi: 10.18429/JACoW-ICALEPCS2019-TUCPR03.
- [21] Syafii, A. Luthfi, and A. Y. A. Rozzi. “Design of raspberry pi web-based energy monitoring system for residential electricity consumption.” *2020 Int. Conf. Inf. Technol. Syst. Innov. ICITSI 2020 - Proc.*, pp. 192–196. 2020. doi: 10.1109/ICITSI50517.2020.9264926