

ANALISIS KELAYAKAN KINERJA POWER METER TIGA FASA BERBASIS INTERNET OF THINGS MENGGUNAKAN PROTOKOL MESSAGE QUEUING TELEMETRY TRANSPORT

Deffan Daanial Ikhsan^{*1}, Mulki Indana Zulfa², Muhammad Syaiful Aliim³

¹Program Studi Teknik Elektro, Universitas Jendral Soedirman, Indonesia
e-mail: deffan.daanial56@gmail.com

Abstrak

Pemantauan konsumsi energi listrik pada berbagai fasilitas masih banyak dilakukan secara manual dan terbatas pada pembacaan lokal, sehingga kurang efisien dan tidak *real-time*. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi dan keandalan powermeter berbasis *Internet of Things* (IoT) yang digunakan pada gedung Telkom. Metode penelitian meliputi studi literatur, review komponen, pengujian alat, dan analisis perbandingan dengan alat referensi serta powermeter industri. Parameter yang diuji meliputi tegangan, arus, dan daya dengan enam kali pengukuran berulang untuk memperoleh nilai rata-rata error. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat memiliki rata-rata error tegangan sebesar 0,0062%, lebih baik dibandingkan dengan powermeter IoT pembanding sebesar 0,03%. Pada pengukuran arus dan daya diperoleh error masing-masing sebesar 0,08% dan 0,09%, yang masih lebih tinggi dibandingkan dengan alat pembanding. Secara keseluruhan, alat menunjukkan performa yang cukup baik dan layak digunakan, meskipun masih diperlukan peningkatan pada pengukuran arus dan daya agar mendekati standar akurasi powermeter industri.

Kata kunci: IoT; Powermeter; tegangan; arus; daya

Abstract

Monitoring electrical energy consumption across various facilities is still commonly performed manually and limited to local readings, making the process less efficient and not *real-time*. This study aims to evaluate the accuracy and reliability of an Internet of Things (IoT)-based power meter implemented in the Telkom building. The research methods include literature study, component review, device testing, and comparative analysis with reference instruments and industrial power meters. The tested parameters include voltage, current, and power, with six repeated measurements conducted to determine the average error. The results show that the proposed device achieved an average voltage measurement error of 0.0062%, which is better than the comparison IoT power meter with an error of 0.03%. Meanwhile, the current and power measurements produced errors of 0.08% and 0.09%, respectively, which are still higher than those of the comparison device. Overall, the developed system demonstrated good performance and usability, although improvements in current and power measurements are still required to meet the accuracy standards of industrial power meters.

Keywords: IoT; Powermeter; voltage; current; power

1. PENDAHULUAN

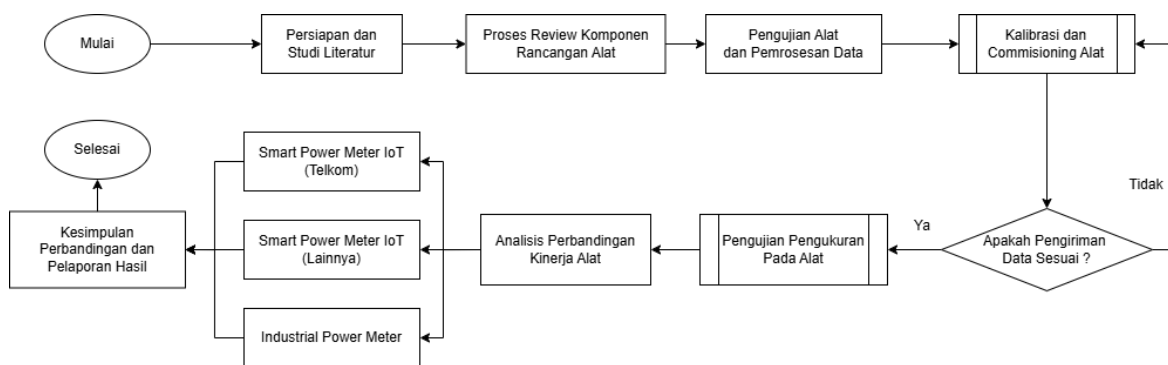
Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan aktivitas manusia, terutama pada sektor industri dan gedung operasional yang membutuhkan suplai listrik stabil dan berkelanjutan. Meskipun sektor rumah tangga mendominasi konsumsi listrik nasional sebesar 42,34%, sektor industri dan bisnis tetap menjadi bagian penting yang memerlukan pengelolaan energi secara efisien dan terukur [1]. Namun, pada banyak fasilitas, proses pemantauan konsumsi energi masih dilakukan secara manual sehingga kurang efisien, tidak *real-time*, dan memiliki keterbatasan dalam pencatatan data secara berkelanjutan [2]. Sebagai solusi, penerapan Power Meter berbasis Internet of Things (IoT) memungkinkan proses monitoring energi listrik dilakukan secara otomatis dan jarak jauh [3][4]. Sistem ini memanfaatkan integrasi sensor, mikrokontroler, serta protokol komunikasi ringan seperti Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) untuk mendukung pengiriman data yang cepat, stabil, dan hemat bandwidth [5][6]. Dengan teknologi IoT, parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, dan energi dapat dipantau secara *real-time* melalui platform monitoring tanpa perlu pengecekan langsung di lokasi alat [7][8]. Smart powermeter berbasis Internet of Things (IoT) merupakan perangkat pengukuran energi listrik digital yang mampu mencatat, mengukur, dan mengirimkan informasi konsumsi listrik secara otomatis melalui jaringan internet [9][10]. Teknologi IoT memungkinkan berbagai perangkat fisik, seperti sensor dan mikrokontroler, saling terhubung serta bertukar data secara *real-time* tanpa keterlibatan manusia secara langsung [11][10]. Dalam implementasinya, smart powermeter dapat mengukur berbagai parameter kelistrikan seperti tegangan (V), arus (A), daya aktif (W), daya reaktif (VAR), faktor daya (power factor), konsumsi energi (kWh), hingga

total harmonic distortion (THD) untuk evaluasi kualitas daya [12]. Data hasil pengukuran kemudian dapat divisualisasikan melalui platform digital yang dapat diakses kapan saja dan di mana saja. Selain itu, sistem ini juga mampu melakukan monitoring parameter kelistrikan satu fasa maupun tiga fasa secara real-time, sehingga efektif digunakan untuk pengelolaan energi pada gardu distribusi, fasilitas industri, maupun gedung operasional [13][14].

Penelitian ini bertujuan untuk menguji kelayakan kinerja alat power meter rancangan Telkom (RIM) yang diimplementasikan pada gedung operasional Telkom. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan alat terhadap alat ukur standar industri untuk mengetahui tingkat akurasi dan keandalannya. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai performa alat serta potensi penerapan power meter berbasis IoT sebagai sistem monitoring energi listrik yang efektif dan efisien. Beberapa penelitian terdahulu telah dijadikan referensi dalam penelitian pemantauan energi listrik berbasis Internet of Things (IoT) ini, di antaranya adalah penelitian oleh Achmad Amru dkk. Mengenai pemantauan daya listrik secara real-time berbasis IoT, serta penelitian oleh Rizki Priya Pratama dkk. Yang menggunakan mikrokontroler ESP32 dan MQTT untuk mengukur parameter kelistrikan. Penelitian ini memiliki kesamaan pada penerapan sistem monitoring kelistrikan berbasis IoT, namun berbeda pada parameter yang diukur dan metode komunikasi yang digunakan [15][16].

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode komparatif dengan membandingkan hasil pengukuran rancangan alat terhadap pengukuran manual untuk memperoleh nilai persentase error dan mengetahui tingkat akurasi alat. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan powermeter lain berdasarkan studi literatur. Penelitian ini dilaksanakan di Telkom Corporate University, Jakarta, dalam rentang waktu empat bulan. Objek utama yang diuji adalah rancangan alat *Smart Power Meter* berbasis mikrokontroler ESP32 dan modul pengukuran JSY-MK333. Penelitian ini dilaksanakan di Telkom Corporate University, Jakarta, dalam rentang waktu empat bulan. Objek utama yang diuji adalah rancangan alat *Smart Power Meter* berbasis mikrokontroler ESP32 dan modul pengukuran JSY-MK333. Diagram alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian.

A. Persiapan dan Studi Literatur

Tahap persiapan dan studi literatur merupakan tahap awal penelitian yang dilakukan dengan mengumpulkan serta mempelajari berbagai referensi, terutama jurnal penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian. Tahap ini bertujuan untuk memahami permasalahan penelitian, mempelajari rancangan powermeter berbasis IoT, serta meninjau komponen-komponen yang digunakan pada sistem powermeter lainnya sebagai acuan penelitian.

B. Proses Review Komponen

Pada tahap ini dilakukan review terhadap rancangan alat untuk mengidentifikasi komponen dan modul yang digunakan. Proses dilakukan dengan membongkar alat serta mengamati bagian-bagian seperti sensor, modul pengukuran, mikrokontroler, dan sistem komunikasi data. Setiap komponen kemudian dianalisis

berdasarkan spesifikasi teknis dan kesesuaiannya dengan kebutuhan sistem, sehingga hasilnya dapat digunakan sebagai acuan perbandingan dengan powermeter lain maupun standar industri.

C. Pengujian Alat

Pada tahap ini dilakukan pengujian alat untuk mengetahui tingkat keakuratan pengukuran. Data arus dan tegangan yang diperoleh diolah untuk mendapatkan parameter kelistrikan lain seperti daya aktif, daya semu, daya reaktif, dan energi. Sebelum pengujian, alat melalui proses commissioning untuk memastikan transmisi data berjalan sesuai sistem, serta tahap kalibrasi guna meningkatkan akurasi pengukuran. Pengujian dilakukan secara bertahap menggunakan amperemeter dan multimeter sebagai acuan pembacaan manual. Hasil pengukuran kemudian dianalisis untuk menghitung persentase kesalahan (error) menggunakan persamaan 1 [17].

$$\%error = \left(\frac{V_{manual} - V_{alat}}{V_{alat}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

D. Analisis Perbandingan Kinerja

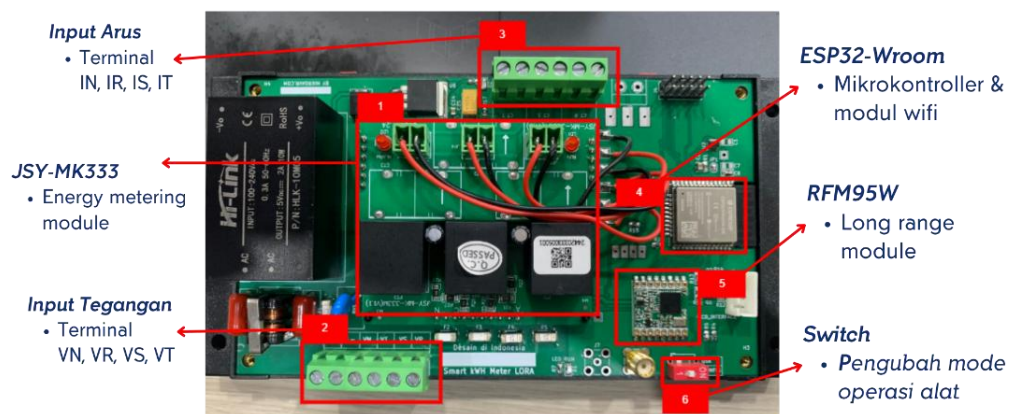
Pada tahap ini dilakukan analisis untuk menilai kelayakan dan akurasi rancangan smart powermeter. Analisis mencakup kemampuan alat dalam mengukur parameter kelistrikan secara akurat, kompatibilitas komponen perangkat keras seperti sensor dan mikrokontroler, serta kemampuan sistem dalam mengirimkan data secara real-time melalui protokol MQTT. Selain itu, hasil rancangan alat dibandingkan dengan powermeter berbasis IoT lainnya serta powermeter standar industri yang menggunakan modul dan komponen berbeda.

E. Pelaporan Hasil

Pelaporan hasil merupakan tahap akhir penelitian yang memuat rangkuman hasil pengujian dan analisis data secara sistematis. Pembahasan mencakup proses pengukuran, pengujian, serta evaluasi performa rancangan alat. Pada bagian akhir disajikan kesimpulan penelitian dan rekomendasi untuk pengembangan selanjutnya.

3. HASIL PENELITIAN

Pada proses review komponen rancangan alat *powermeter* berbasis IoT, dapat disimpulkan bahwa terdapat beberapa komponen utama yang umum digunakan, yaitu mikrokontroler dan *energy metering module*. Mikrokontroler berperan sebagai pusat pengolah data, sedangkan *energy metering module* berfungsi untuk melakukan pengukuran parameter kelistrikan. Oleh karena itu, kedua komponen tersebut menjadi bagian yang sangat krusial, sehingga perlu dilakukan pengujian dan perbandingan kinerja guna memastikan tingkat akurasi, keandalan, serta kesesuaian terhadap kebutuhan sistem yang dirancang [18][19]. Keseluruhan komponen dapat dilihat pada proses review ini, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian.

1. *JSY-MK333*, sebagai Modul utama yang digunakan untuk mengukur parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, faktor daya, dan energi listrik. Modul ini mengolah sinyal dari sensor tegangan dan arus sebelum dikirim ke mikrokontroler.
2. Input Tegangan (VN, VR, VS, VT), sebagai terminal yang digunakan untuk menerima input tegangan dari sistem listrik (umumnya 3 fasa + netral).
3. Input Arus (IN, IR, IS, IT), sebagai terminal yang terhubung dengan Current Transformer (CT) untuk mengukur arus pada masing-masing fasa. CT berfungsi menurunkan arus besar menjadi arus kecil yang aman untuk dibaca oleh modul.
4. *ESP32-WROOM*, berperan sebagai pusat kendali sistem yang mengolah data dari modul metering, kemudian mengirimkan data tersebut ke platform IoT melalui konektivitas yang tersedia.
5. *RFM95W*, sebagai modul komunikasi nirkabel berbasis LoRa yang digunakan untuk mengirimkan data hasil pengukuran ke server atau gateway dengan jangkauan jarak jauh dan konsumsi daya rendah.
6. *Switch*, Digunakan untuk mengubah mode operasi alat, yaitu antara mode pengukuran normal dan mode pengaturan (setting/commissioning), seperti konfigurasi awal atau kalibrasi sistem.

A. Pengujian Rancangan Alat

Pada pengujian rancangan alat power meter dilakukan pengujian pada beberapa parameter, yaitu tegangan, daya, dan arus. Rancangan alat powermeter dihubungkan ke line tegangan dan arus yang kemudian diberi sumber tegangan yang konstan dan juga beban yang sama. Pada pengujian ini dilakukan 6 kali pengukuran yang setiap pengukurannya dicatat pada tabel, lalu hasilnya dibandingkan dengan nilai pada alat ukur referensi untuk melihat keakuratan nilai pengukuran dari rancangan alat powermeter. Hasil pengujian keakuratan alat dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

Tabel 1. *Presentase Error Pengukuran Tegangan (Powermeter RIM)*

No.	Tegangan Refrensi (V)	Tegangan Alat (V)	Presentase Error
1.	224.8	224.10	0,0031%
2.	224.8	223.38	0,0063%
3.	224.8	223.17	0,0073%
4.	224.8	223.12	0,0075%
5.	224.8	223.42	0,0061%
6.	224.8	223.21	0,0071%
Jumlah Presentase Error			0,0062%

Tabel 2. *Presentase Error Pengukuran Arus (Powermeter RIM)*

No.	Arus Refrensi (A)	Arus Alat (A)	Presentase Error
1.	0.30	0.34	0,11%
2.	0.19	0.20	0,05%
3.	0.09	0.10	0,05%
4.	4.71	5.26	0,10%
5.	4.73	5.33	0,11%
6.	4.74	5.31	0,10%
Jumlah Presentase Error			0,08%

Tabel 3. *Presentase Error Pengukuran Daya (Powermeter RIM)*

No.	Daya Refrensi (W)	Daya Alat (W)	Presentase Error
1.	67.44	76.19	0,11%
2.	42.71	44.68	0,04%

No.	Daya Refrensi (W)	Daya Alat (W)	Presentase Error
3.	20.23	22.32	0,09%
4.	1,058	1,173	0,09%
5.	1,063	1,190	0,11%
6.	1,065	1,185	0,10%
Jumlah Presentase Error			0,09%

B. Perbandingan dengan Powermeter IoT Lainnya

Hasil pengujian rancangan powermeter berbasis IoT dibandingkan dengan powermeter lain yang menggunakan modul pengukuran berbeda. Perbandingan dilakukan pada aspek akurasi pengukuran serta performa pengiriman data secara real-time melalui jaringan internet. Parameter yang diuji meliputi tegangan, arus, dan daya. Powermeter referensi menggunakan modul PZEM-004T karena memiliki integrasi yang mudah dengan mikrokontroler dan akurasi yang cukup baik pada sistem monitoring IoT [16][20]. Perbandingan ini diharapkan dapat menunjukkan kelebihan dan kekurangan masing-masing sistem dari sisi pengukuran dan komunikasi data.

Tabel 4. *Presentase Error Pengukuran Tegangan (Powermeter IoT Lainnya)*

No.	Tegangan Refrensi (W)	Tegangan Alat (W)	Presentase Error
1.	80	79.58	0,05%
2.	110	110.25	0,02%
3.	150	149.46	0,04%
4.	180	179.62	0,02%
5.	200	200.55	0,03%
6.	220	221.13	0,05%
Jumlah Presentase Error			0,03%

Tabel 5. *Presentase Error Pengukuran Arus (Powermeter IoT Lainnya)*

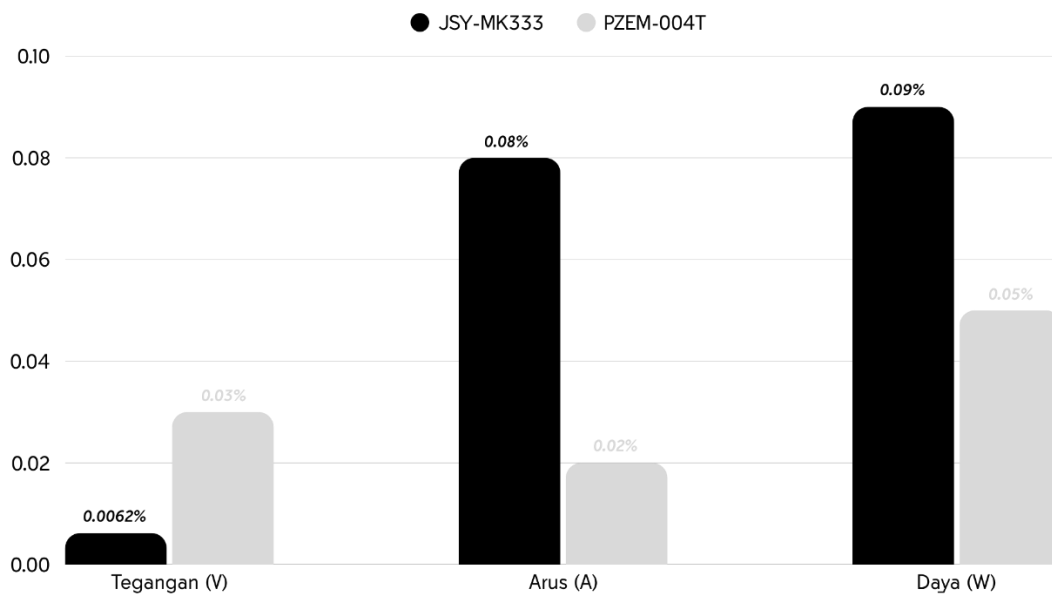
No.	Arus Refrensi (A)	Arus Alat (A)	Presentase Error
1.	0.4	0.396	0,01%
2.	0.55	0.549	0,02%
3.	0.74	0.741	0,01%
4.	0.89	0.888	0,02%
5.	0.99	0.989	0,01%
6.	1.09	1.089	0,01%
Jumlah Presentase Error			0,02%

Tabel 6. *Presentase Error Pengukuran Daya (Powermeter IoT Lainnya)*

No.	Daya Refrensi (W)	Daya Alat (W)	Presentase Error
1.	31.8	31.44	0,11%
2.	60.5	61.37	0,14%
3.	111	110.35	0,06%
4.	160.2	159.43	0,05%
5.	198.0	197.46	0,03%
6.	239.8	238.46	0,06%
Jumlah Presentase Error			0,05%

Secara umum, rancangan alat *powermeter* berbasis *IoT* yang dikembangkan menunjukkan tingkat akurasi yang cukup baik, terutama pada pengukuran tegangan dengan rata-rata error sebesar 0,0062%. Nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan *powermeter* referensi yang memiliki error tegangan sekitar 0,03% yang ditunjukkan pada Tabel 4. Hal ini menunjukkan bahwa dari sisi pengukuran tegangan, rancangan alat memiliki performa yang sangat presisi dan mampu bersaing, bahkan lebih unggul.

Namun, pada pengukuran arus dan daya, kinerja rancangan alat masih berada di bawah *powermeter* referensi. Rancangan alat memiliki rata-rata error arus sebesar 0,08%, sedangkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 5 menunjukkan alat pembanding hanya sekitar 0,02%. Selisih ini menunjukkan bahwa sensor atau metode pengukuran arus pada rancangan alat masih kurang stabil, terutama saat terjadi variasi beban. Hal serupa juga terjadi pada pengukuran daya, di mana rancangan alat memiliki error sekitar 0,09%, lebih besar dibandingkan dengan alat pembanding dengan error 0,05% seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6. Seluruh hasil dari pengukuran dan perbandingan kedua modul alat dapat dilihat secara detail pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Kinerja Pengukuran Modul.

C. Perbandingan dengan Powermeter Industri

Tabel 6. Perbandingan Aspek *Powermeter IoT* dan *Powermeter Industri*

<i>Aspek</i>	<i>Powermeter Berbasis IoT</i>	<i>Powermeter Industri</i>
Akurasi Pengukuran	Cukup akurat, namun masih memiliki deviasi lebih besar dibanding standar industri	Sangat akurat, telah melalui kalibrasi dan sertifikasi standar
Sistem Komunikasi	Internet (WiFi/Ethernet), berbasis cloud	Modbus RS485 (wired), stabil dan tahan gangguan
Latensi Data	Bergantung pada jaringan	Rendah dan konsisten
Ketahanan terhadap Noise	Rentan terhadap gangguan jaringan dan interferensi	Tahan terhadap gangguan elektromagnetik (EMI)
Monitoring Data	Real-time, dapat diakses dari mana saja melalui web/aplikasi	Real-time melalui SCADA, umumnya terbatas pada jaringan lokal
Kemudahan Akses	Sangat mudah, dapat diakses secara remote	Lebih kompleks, memerlukan sistem SCADA
Kompleksitas Sistem	Relatif sederhana dan mudah dikembangkan	Kompleks, membutuhkan konfigurasi industri

<i>Aspek</i>	<i>Powermeter Berbasis IoT</i>	<i>Powermeter Industri</i>
<i>Biaya Implementasi</i>	Lebih murah dan efisien	Lebih mahal karena standar industri dan infrastruktur
<i>Skalabilitas</i>	Fleksibel untuk skala kecil–menengah	Sangat baik untuk skala besar (industri/pabrik)

Jika dibandingkan dengan powermeter standar industri, perbedaan utama terletak pada aspek akurasi, keandalan, dan sistem komunikasi. Powermeter industri umumnya terintegrasi dengan sistem SCADA menggunakan protokol Modbus RS485 yang memiliki kestabilan tinggi, tahan terhadap gangguan elektromagnetik, serta mampu bekerja secara kontinu dalam lingkungan industri. Selain itu, perangkat industri telah melalui proses kalibrasi dan sertifikasi sehingga menghasilkan tingkat akurasi yang lebih konsisten dibandingkan powermeter berbasis IoT [21]. Di sisi lain, powermeter berbasis IoT memiliki keunggulan pada fleksibilitas, kemudahan akses, dan efisiensi biaya karena mampu mengirimkan data monitoring secara real-time melalui jaringan internet. Namun, sistem ini masih bergantung pada kestabilan koneksi internet sehingga berpotensi mengalami delay maupun kehilangan data. Oleh karena itu, powermeter industri lebih sesuai untuk aplikasi dengan tuntutan keandalan tinggi, sedangkan powermeter berbasis IoT lebih tepat digunakan untuk kebutuhan monitoring skala kecil hingga menengah [22].

4. DISKUSI

Berdasarkan hasil pengujian, rancangan powermeter berbasis IoT menunjukkan tingkat keakuratan yang cukup baik pada parameter tegangan, arus, dan daya. Meskipun nilai akurasinya masih berada di bawah powermeter referensi, selisih pengukuran yang diperoleh relatif kecil dan masih berada dalam batas toleransi sistem kelistrikan, sehingga alat dinilai mampu memberikan hasil pengukuran yang representatif untuk kebutuhan monitoring energi listrik. Performa terbaik ditunjukkan pada pengukuran tegangan dengan nilai error yang rendah, sedangkan pada pengukuran arus dan daya masih ditemukan deviasi yang lebih besar. Kondisi ini mengindikasikan adanya keterbatasan pada sensor maupun rangkaian pengukuran yang dipengaruhi oleh variasi beban, noise sinyal, dan proses kalibrasi yang belum optimal, sehingga diperlukan pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan presisi pengukuran. Dari aspek perangkat keras dan sistem komunikasi, rancangan alat memiliki keunggulan dalam fleksibilitas dan efisiensi karena mampu mendukung pengukuran satu fasa maupun tiga fasa dalam satu perangkat, serta dapat mengirimkan data secara real-time melalui sistem IoT berbasis MQTT. Namun demikian, sistem masih memiliki keterbatasan seperti ketergantungan terhadap kestabilan jaringan internet, potensi delay dan packet loss, serta tingkat ketahanan dan keamanan yang belum setara dengan powermeter industri berbasis SCADA dan Modbus RS485. Oleh karena itu, powermeter berbasis IoT lebih sesuai digunakan untuk kebutuhan monitoring skala kecil hingga menengah yang membutuhkan fleksibilitas dan efisiensi biaya, sedangkan powermeter industri tetap lebih unggul untuk aplikasi dengan tuntutan keandalan dan akurasi tinggi.

5. KESIMPULAN

Rancangan alat power meter berbasis IoT yang dikembangkan dalam penelitian ini telah mampu melakukan pengukuran parameter kelistrikan utama, yaitu tegangan, arus, dan daya, dengan tingkat keakuratan yang tergolong baik. Hal ini ditunjukkan dari hasil pengujian yang menghasilkan nilai persentase error rata-rata sebesar 0,0062% pada pengukuran tegangan, dibandingkan powermeter IoT pembanding 0,03%. Namun pada pengukuran arus, error alat sebesar 0,08% masih lebih tinggi dibandingkan pembanding 0,02%. Hal serupa terjadi pada pengukuran daya, dengan error sebesar 0,09% dibandingkan 0,05% pada alat pembanding. Nilai error tersebut menunjukkan bahwa sistem telah mampu bekerja dengan cukup presisi dalam merepresentasikan kondisi kelistrikan aktual.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada pihak PT. Telkom Indonesia (Persero) Tbk (Telkom), yang telah membantu penulis dalam melaksanakan penelitian ini. Semoga hasil penelitian dan pembahasan pada jurnal ini dapat memberikan manfaat bagi banyak pihak, terutama di bidang Internet of Things.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. B. SANTOSO, S. PRAJOGO, and S. P. MURSID, "Pengembangan Sistem Pemantauan Konsumsi Energi Rumah Tangga Berbasis Internet of Things (IoT)," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 6, no. 3, p. 357, 2018, doi: 10.26760/elkomika.v6i3.357.
- [2] M. Aris raharjo and S. Riadi, "AUDIT KONSUMSI ENERGI UNTUK MENGETAHUI PELUANG PENGHEMATAN ENERGI PADA GEDUNG PT INDONESIA CAPS AND CLOSURES Muhamad," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 9, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [3] M. N. Hidayah, A. Riza, and A. Kunto, "Implementasi *Internet of Thing* untuk kontrol dan monitoring kwh meter pascabayar," *J. Pendidik. Tek. Elektro Undiksha*, vol. 9, no. 3, pp. 161–170, 2020.
- [4] E. S. Pasaribu, S. Aisyah, P. Wikanta, A. G. Darmoyono, and E. M. Lubis, "Sistem Kendali dan Pemantauan Daya Listrik dengan MQTT Berbasis IoT," *J. Tek. Indones.*, vol. 3, no. 7, pp. 99–114, 2024, doi: 10.58860/jti.v3i7.445.
- [5] A. Amelia *et al.*, "MQTT protocol implementation for monitoring of environmental based on IoT," *3rd Int. Conf. Appl. Sci. Technol. iCAST 2020*, pp. 700–703, 2020, doi: 10.1109/iCAST51016.2020.9557694.
- [6] M. Mulyadi, C. Austin, and S. Octaviani, "Implementasi IoT dengan ESP 32 Untuk Pemantauan Kondisi Suhu Secara Jarak Jauh Menggunakan MQTT Pada AWS," *J. Elektro*, vol. 15, no. 2, pp. 46–55, 2022.
- [7] S. Kshirsagar and S. Kshirsagar, "IoT Based Smart Energy Meter," *SSRN Electron. J.*, pp. 30–31, 2021, doi: 10.2139/ssrn.3936289.
- [8] M. S. Syamsudin, L. S. Riza, and Rasim, "Design and implementation of smart power meters with IoT as smart building monitoring," *Sci. Stud.*, 2023.
- [9] I. B. F. Citarsa, I. M. A. Nrartha, and R. Hidayat, "RANCANG BANGUN SMART kWh METER 3 FASE DENGAN KOMUNIKASI SMS GATEWAY," *Dielektrika*, vol. 7, no. 2, p. 140, 2020, doi: 10.29303/dielektrika.v7i2.246.
- [10] F. Abate, M. Carratù, C. Liguori, and V. Paciello, "A low cost smart power meter for IoT," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 136, pp. 59–66, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.measurement.2018.12.069.
- [11] M. N. Hassan, M. R. Islam, F. Faisal, F. H. Semantha, A. H. Siddique, and M. Hasan, "An IoT based environment monitoring system," *Proc. 3rd Int. Conf. Intell. Sustain. Syst. ICISS 2020*, pp. 1119–1124, 2020, doi: 10.1109/ICISS49785.2020.9316050.
- [12] S. Wahyudi, E. Prasetyono, D. O. Anggriawan, M. Yuliana, and A. Budikarso, "Rancang Bangun 3 Phase Energy Meter Untuk Analisis Kualitas Daya Di Industri," *J. Integr.*, vol. 15, no. 1, pp. 63–70, 2023, doi: 10.30871/ji.v15i1.3244.
- [13] Z. Anthony, R. A. Alamsyah, R. Hermanto, and E. Sullivan, "Pengoperasian Motor Induksi 3-Fasa Hubungan Delta Pada Sistem Tenaga 1-Fasa Yang Ditinjau Dari Efisiensi dan Kemampuan Motor," pp. 29–32, 2014.
- [14] P. Studi *et al.*, "SISTEM MONITORING ARUS TIDAK SEIMBANG 3 FASA BERBASIS ARDUINO UNO Lucky Aggazi Subagyo Bambang Suprianto," pp. 213–221.
- [15] A. Amru *et al.*, "Pemanfaatan Power Meter PZEM-004T Berbasis IoT Untuk Pemantauan Daya Listrik Secara Real-Time," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 2023, 2025.
- [16] R. P. Pratama, "Rancang Bangun Alat Pengukur Data Kelistrikan dengan Aplikasi Android MQTT Dash," *Elektrise J. Sains dan Teknol. Elektro*, vol. 12, no. 01, pp. 63–72, 2022, doi: 10.47709/elektrise.v12i01.1673.
- [17] S. Nurdianti and O. Candra, "Sistem Monitoring Daya Listrik 3 Fasa Berbasis IoT (Internet of Things)," vol. 4, no. 2, pp. 924–933, 2023.
- [18] A. Kiswantonno, E. W. Pratama, T. Elektro, F. Teknik, and U. B. Surabaya, "Rancang kendali daya 3 phase real time 1 1,2," pp. 1–6.
- [19] M. M. Hazazi *et al.*, "Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kebisingan Kendaraan Bermotor Berbasis IoT," vol. 3, pp. 151–160, 2025.
- [20] I. Z. Nasibu, W. Musa, and A. R. Haras, "Rancang Bangun Power Meter Berbasis Arduino," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 114–118, 2022, doi: 10.37905/jjee.v4i1.10768.
- [21] D. Febrianto, L. Subiyanto, M. B. Rahmat, P. Asri, E. Meter, and E. Meter, "SISTEM MONITORING POWER METER ANTARA HMI DENGAN," vol. 6, no. 1, 2021.
- [22] S. Dayan, Singastia; Minarto; Agus, "Sistem Monitoring Parameter Listrik Tiga Fasa Berbasis IoT Dengan Data logger Untuk Meningkatkan Efisiensi Energi," vol. 15, no. 1, pp. 749–757, 2025.