

Sistem Pemantauan Konsumsi Energi Listrik Berbasis Web Sebagai Upaya Konservasi Energi

Web-Based Electrical Energi Consumption Monitoring as an Energy Conservation Effort

Angga Wahyu Aditya¹, Nur Rani Alham², Restu Mukti Utomo³, Hilmansyah⁴

^{1,4}Jurusan Rekayasa Elektro, Politeknik Negeri Balikpapan

^{2,3}Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

E-mail: ¹angga.wahyu@poltekba.ac.id, ²nurrani.alham@ft.unmul.ac.id,

³restuutomo@ft.unmul.ac.id, ⁴hilmansyah@poltekba.ac.id

Abstrak

Sistem pemantauan energi listrik berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terhubung dengan website menjadi salah satu solusi dalam peningkatan kapasitas, efisiensi dan kemudahan dalam menjalankan audit energi listrik sebagai upaya konservasi energi listrik. Sistem pemantauan ini diletakkan pada panel induk utama gedung untuk mendapatkan data pengukuran. PM2120 yang digunakan dalam sistem pemantauan ini telah berstandar industri dengan prosentasi error pengukuran dibawah 1%. Komunikasi Modbus berbasis RS485 digunakan untuk mengakses data pada ESP32. Data yang dikirimkan PM2120 merupakan data tegangan, arus, daya, energi (aktif, reaktif dan semu), frekuensi, power factor, harmonisa arus dan harmonisa tegangan yang diukur dari pane induk utama gedung. Sistem pemantauan energi listrik ini diterapkan pada gedung perkantoran yang menggunakan AC dengan total luas ruangan sebesar 1026 m². Berdasarkan data tersebut, standar Intensitas Konsumsi Energi (IKE) gedung tersebut sebesar 4.4 kWh/m²/bulan atau 52.73 kWh/m²/tahun. Nilai ini menunjukkan bahwa gedung tersebut termasuk dalam kriteria sangat efisien.

Kata kunci: IoT, Konservasi Energi, IKE, Sistem Pemantauan

Abstract

An Internet of Things (IoT)-based electrical energy monitoring system that is connected to a website is one of the solutions for increasing capacity, efficiency, and convenience in carrying out electrical energy audits as an effort to conserve electrical energy. This monitoring system is placed on the main panel of the building to obtain measurement data. The PM2120 used in this monitoring system has industry standards with a measurement error percentage below 1%. RS485-based Modbus communication is used to access data on the ESP32. The data sent by the PM2120 is the parameter data of voltage, current, power, energy (active, reactive, and apparent), frequency, power factor, current harmonics, and voltage harmonics taken from the main building's panel. This electrical energy monitoring system is applied to office buildings with AC with a total room area of 1026 m². Based on these data, the building's Energy Consumption Intensity standard is 4.4 kWh/m²/month or 52.73 kWh/m²/year. This value indicates that the building is included in the very efficient criteria.

Keywords: IoT, Energy Conservation, IKE, Monitoring System

1. PENDAHULUAN

Konservasi energi merupakan salah satu upaya pengelolaan energi listrik yang memberikan dampak sangat besar bukan hanya pada pengoptimalan konsumsi energi dan biaya, melainkan berdampak pula pada lingkungan [1]. Konservasi energi haruslah dilaksanakan secara sistematis, terencana, efektif dan terpadu untuk mengoptimalkan penggunaan energi. Konservasi energi

merupakan salah satu dari metode yang digunakan pada proses efisiensi konsumsi energi listrik [2].

Pengembangan peralatan yang memudahkan proses konservasi energi telah berkembang dengan pesat. Perkembangan peralatan yang memanfaatkan sensor seperti ACS712, ZMPT-101b dan PZEM-004T pada umumnya digunakan pada skala kecil yang menggunakan sistem satu fasa [3], [4], [5]. Sistem pemantauan daya listrik pada skala ini pada umumnya menggunakan mikrokontroler seperti arduino, raspberry, dan ESP8266 untuk mengolah data pembacaan sensor [6], [7], [8]. Sistem pemantauan energi listrik menggunakan ACS712, ZMPT-101b dan PZEM-004T memiliki keterbatasan pada arus dan tegangan. Selain itu, sistem ini lebih sesuai diaplikasikan pada sistem satu fasa. Meskipun PZEM-004T dapat mengukur arus, tegangan, daya, faktor daya, frekuensi, dan konsumsi energi pada sistem satu fasa, namun belum mampu mengukur harmonisa pada arus maupun tegangan [9], [10].

Sistem pemantauan energi listrik pada jaringan tiga fasa dapat dilakukan dengan menggunakan tiga buah PZEM-004T meskipun memiliki kekurangan dalam penentuan tegangan dan arus antar fasa. Hal ini akan jauh lebih sederhana apabila sistem pemantauan pada jaringan tiga fasa menggunakan *power meter* tiga fasa seperti PM 810 [11], [12]. Kelebihan dari penggunaan perangkat ini adalah, pada hampir keseluruhan *power meter* yang telah memenuhi standar mampu mengatasi semua permasalahan yang telah disampaikan.

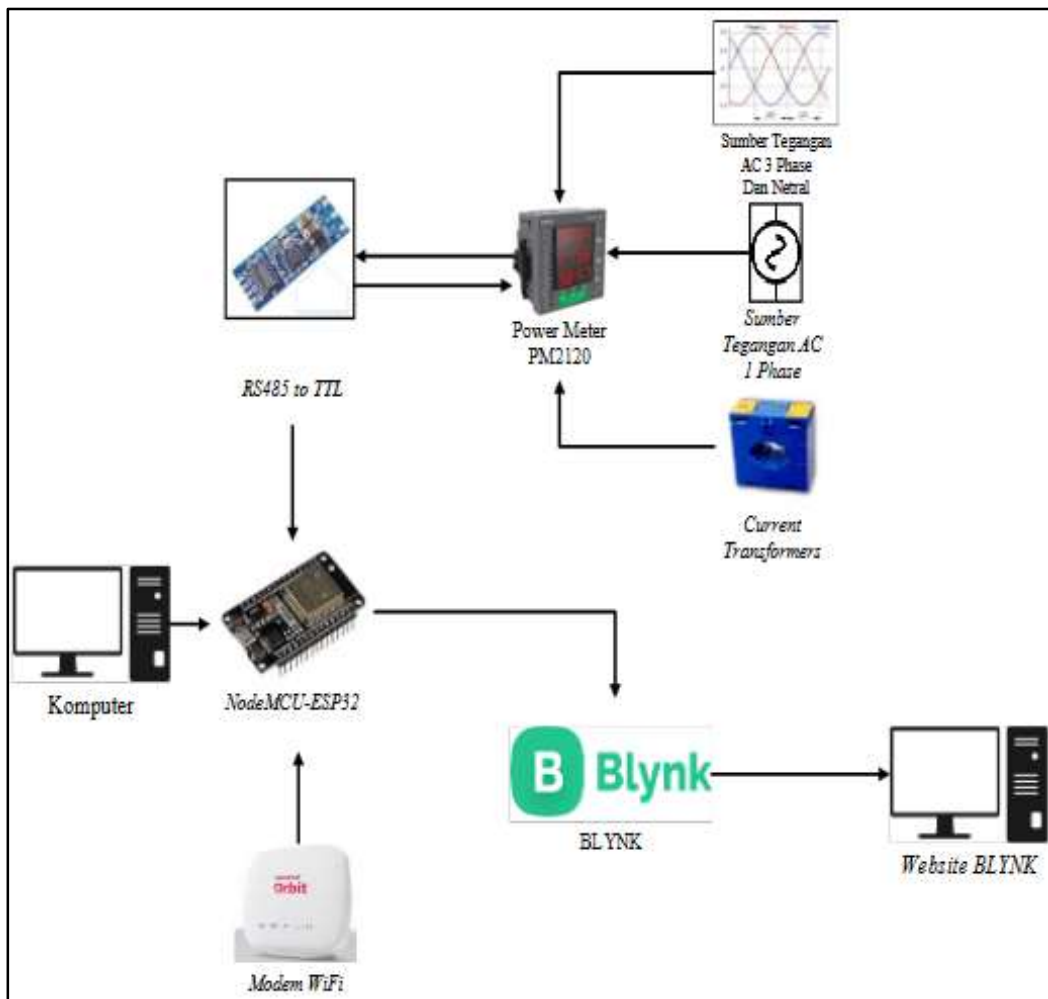
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan *power meter* PM2120 yang dilengkapi dengan ESP32 untuk dapat terhubung dengan jaringan internet. Hal ini dikarenakan pada dasarnya PM2120 tidak dapat terhubung dengan jaringan internet, sehingga memerlukan perangkat tambahan seperti ESP32 dan NodeMCU untuk dapat terhubung ke internet. PM2120 mendapatkan data dari pembacaan sensor tegangan dan arus pada panel utama sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 1. PM2120 menggunakan perangkat konversi RS485 to TTL untuk mengirimkan data ke ESP32 [13]. Data yang dikirimkan menggunakan format *Java Script Object Notion* (JSON). Data yang dikirimkan akan melalui proses *parsing* data untuk mendapatkan data parameter yang dikirimkan. ESP32 akan mengirimkan melakukan proses *cloud computing* yang mana akan ditampilkan melalui interface pada website. Data parameter yang diambil pada pembuatan sistem monitoring konsumsi energi adalah data arus, tegangan, energi (energi aktif *delivered*, energi reaktif *delivered*, energi semu *delivered*, energi aktif *received*, energi reaktif *received*, dan energi semu *received*) pada masing – masing fasa, frekuensi, factor daya, dan harmonisa. Parameter – parameter inilah yang nantinya akan dijadikan parameter utama dalam penentuan IKE dalam konservasi daya [14], [15]. Perhitungan IKE didasarkan atas perbandingan dari total energi yang dikonsumsi (kWh) terhadap luas keseluruhan bangunan (m²) sebagaimana ditunjukkan oleh persamaan 1.

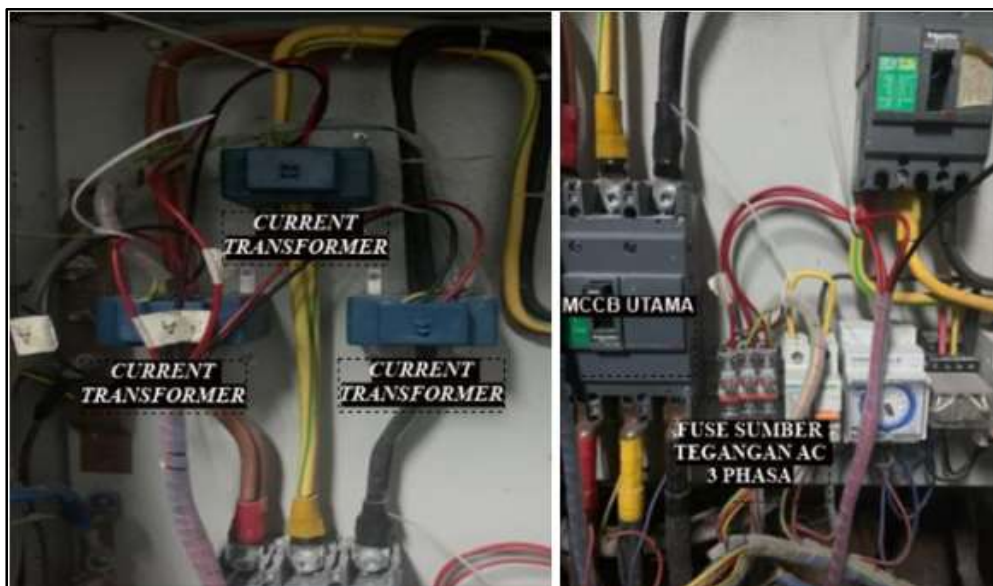
$$IKE = \frac{\text{Total kWh}}{\text{Luas Bangunan}} \quad (1)$$

Sistem pemantauan konsumsi energi terdiri atas dua panel yang dipasang pada gedung bertingkat dengan *air conditioner* (AC). Panel pertama merupakan panel utama gedung yang dilengkapi dengan sensor tegangan, arus dan rangkaian pengaman lainnya sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 2. Sedangkan panel selanjutnya adalah panel rangkaian yang terdiri atas *power meter* PM2120, *Miniature Circuit Braker* (MCB), *DC switching power supply* dan perangkat IoT seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.

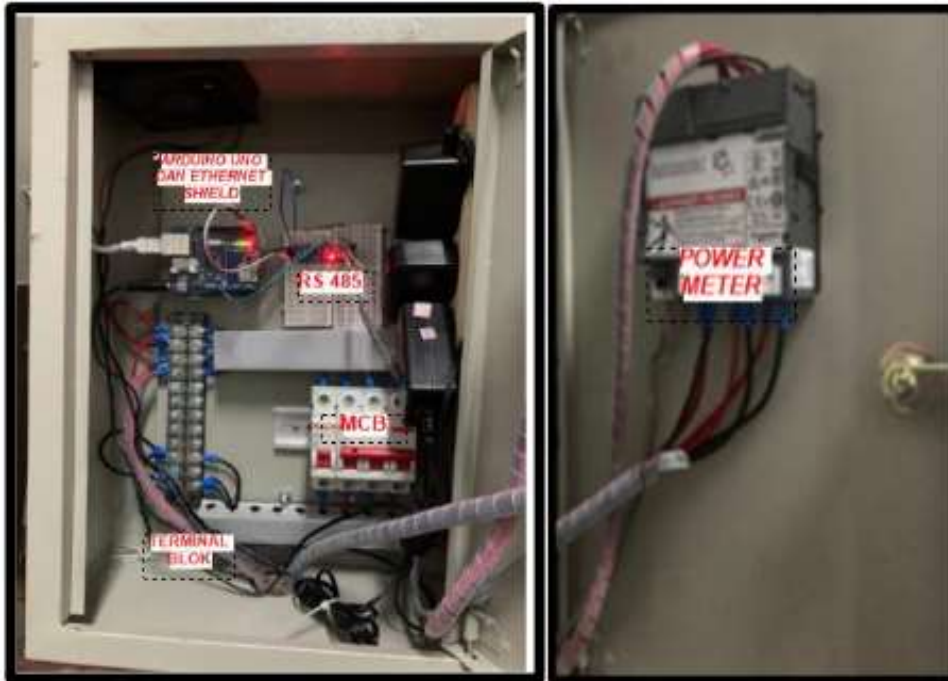
Sistem pemantauan berbasis website didesain menggunakan platform blynk yang telah terintegrasi dengan database. Data – data yang dibaca oleh sensor yang terhubung dengan PM2120 akan dikirimkan ke ESP32 dengan menggunakan tambahan perangkat konversi data sebagaimana pada Gambar 2. Data – data yang telah tertampung pada ESP32 kemudian akan dikirimkan ke platform blynk dengan mensinkronkan penamaan parameter yang telah dibuat pada program yang tertanam di ESP32 dengan inialisasi pada platform blynk.



Gambar 1. Diagram blok sistem pemantauan



Gambar 2. Panel induk utama gedung



Gambar 3. Panel sistem pemantauan konsumsi energi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran tegangan dan arus pada beberapa publikasi ilmiah menggunakan sensor – sensor satu fasa seperti ACS712, ZMPT-101b dan PZEM-004T. Sensor tegangan ZMPT-101b memiliki prosentase error di atas 1% [16]. PZEM-004T memiliki rata – rata prosentase error pada pengukuran tegangan sebesar 0.13% dan pada pengukuran arus sebesar 2.27% [17]. Sedangkan pada sensor ACS712 memiliki rata – rata prosentase error diatas 2% [18], [19]. Sehingga penggunaan sensor satu fasa tidaklah efektif dan efisien jika digunakan pada sistem tiga fasa untuk keperluan pengukuran IKE. Selain itu, sensor – sensor ini memerlukan microcontroller seperti ESP8266, ESP32, dan arduino untuk membaca besaran – besaran listrik. Pada sistem tiga fasa, pengukur besaran listrik yang digunakan adalah power meter PM2120 yang telah berstandar dunia industri. Sehingga, nilai rata – rata error pada pembacaan data tegangan dan arus per fasa yang dibandingkan dengan alat ukur (KEW2117R) kurang dari 1% sebagaimana ditunjukkan oleh tabel 1.

Tabel 1. Prosentase error PM2120 dan alat ukur

Parameter		PM2120	Alat Ukur	Error (%)
Tegangan (V)	R	394.1	394.3	0.05
		392.3	392.1	0.05
		393.4	393.7	0.08
	S	397.9	397.8	0.03
		395.7	396.4	0.18
		396.8	394.6	0.55
	T	395.6	395.5	0.03
		394.5	395.2	0.18
		395.6	396.2	0.15
Arus (A)	R	9.72	9.71	0.10
		10.52	10.51	0.10
		12.23	12.21	0.16
	S	26.89	26.83	0.22
		24.63	24.60	0.12
		25.92	25.89	0.12
	T	16.68	16.64	0.24
		15.72	15.75	0.19
		18.53	18.51	0.11

Energy listrik pada pemantauan power meter terdiri atas energy listrik delivered sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 4 dan energy listrik received yang ditunjukkan oleh gambar 5. Energy listrik delivered merupakan energy yang masuk ke beban. Sedangkan energy listrik received merupakan energy yang keluar dari beban. Pengukuran energy dilakukan setiap detik dan dinyatakan setiap jam. Pada pengukuran energy menggunakan prinsip pengukuran daya listrik pada satuan waktu yang mana terdapat tiga jenis energy, yaitu: energy aktif (kWh), reaktif (kVARh) dan semu (kVAh) [11], [20], [21]. Persamaan energy dinyatakan oleh (1), dimana G merupakan energy aktif, reaktif ataupun semu. Sedangkan T adalah periode waktu pengukuran energy.

$$E = \int_T G \delta(t) \quad (1)$$

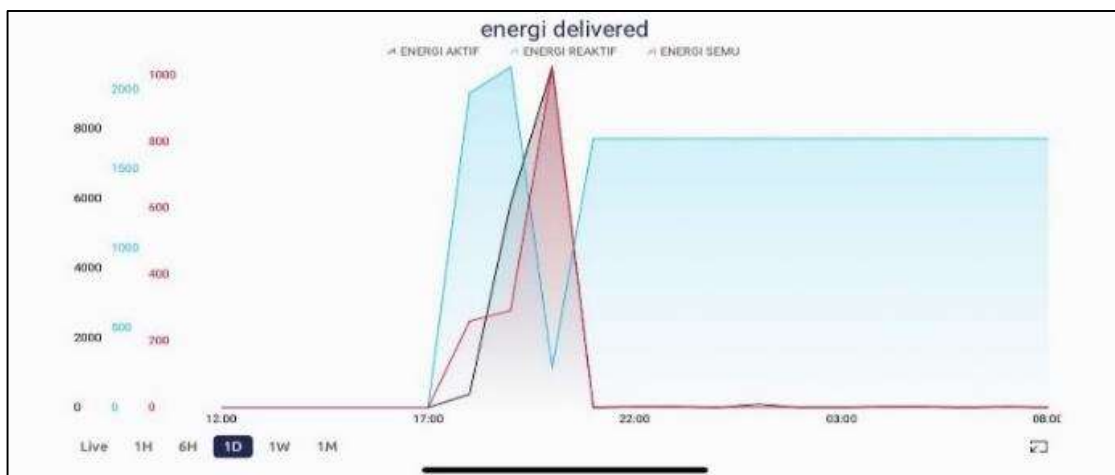
Grafik konsumsi energi listrik melalui pembacaan PM2120 yang terhubung dengan IoT menggunakan aplikasi blynk sebagai sistem pemantauan jarak jauh berbasis website. Gambar 6 merupakan grafik hasil pemantauan energi listrik *delivered* (energi aktif, reaktif dan semu) dalam rentang waktu satu hari yang dipantau menggunakan IoT berbasis website. Sedangkan grafik pemantauan energi listrik *received* ditunjukkan oleh gambar 7.



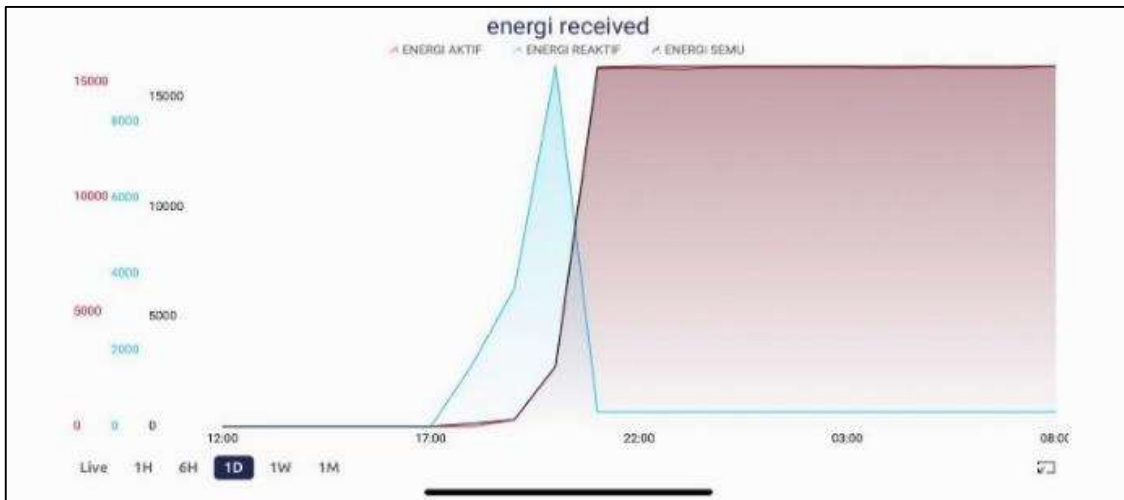
Gambar 4. Energi listrik *delivered*



Gambar 5. Energi listrik *received*



Gambar 6. Grafik energi listrik *delivered*

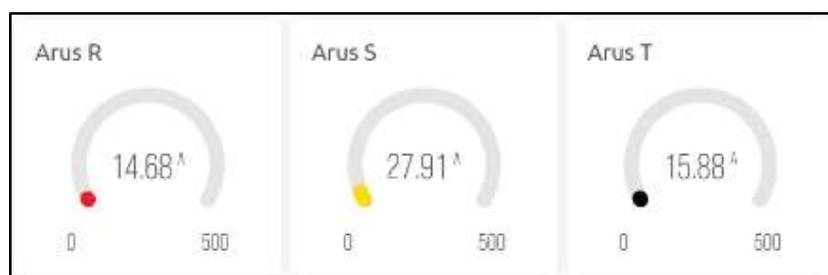


Gambar 7. Grafik energi listrik *received*

Tegangan dan arus per fasa pada PM2120 merupakan tegangan dan arus *line-to-line*. Tegangan dan arus yang dibaca oleh PM2120 melalui sensor yang terdapat pada panel induk utama gedung. Hasil pembacaan tegangan ditunjukkan oleh gambar 8 sedangkan pembacaan arus per fasa ditunjukkan oleh gambar 9. *Power factor* (factor daya) dan frekuensi pada pembacaan PM2120 yang telah terintegrasi dengan sistem IoT ditunjukkan oleh gambar 10. Sedangkan harmonisa arus pada masing – masing fasa dan harmonisa tegangan ditunjukkan oleh gambar 11.



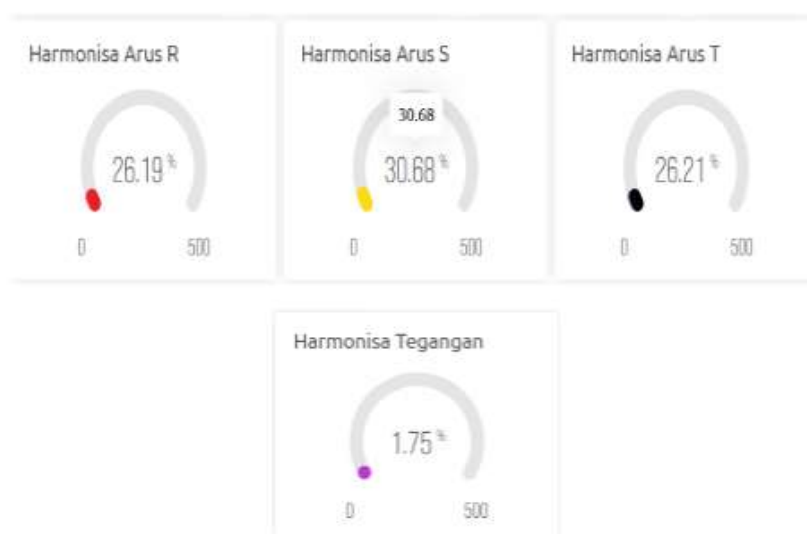
Gambar 8. Tegangan per fasa



Gambar 9. Arus per fasa



Gambar 10. Frekuensi dan factor daya



Gambar 11. Harmonisa arus dan tegangan

Sistem pemantauan energi listrik ini diterapkan pada gedung perkantoran yang menggunakan *air conditioner* (AC) dengan standar IKE seperti yang ditunjukkan oleh tabel 2 [22]. Berdasarkan pemantauan yang telah dilakukan selama satu tahun, konsumsi rata – rata energi listrik yang digunakan adalah 4508.4 kWh per bulan atau 54100.8 kWh per tahun. Berdasarkan data konsumsi energi listrik dan luas bangunan gedung keseluruhan yang mencapai 1026 m², maka didapatkan nilai IKE sebesar 4.4 kWh/m²/bulan atau 52.73 kWh/m²/tahun. Hal ini menunjukkan bahwa gedung tersebut termasuk kedalam kriteria sangat efisien.

Tabel 2. Standar IKE gedung perkantoran

Kriteria	Dengan AC (kWh/m ² /bulan)	Tanpa AC (kWh/m ² /bulan)
Sangat Efisien	<8.5	<3.4
Efisien	8.5 – 14	3.4 – 5.6
Cukup Efisien	14 – 18.5	5.6 – 7.4
Boros	>8.5	>7.4

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Sistem pemantauan energy listrik dengan menggunakan IoT merupakan langkah mudah dalam melakukan audit energy listrik dalam upaya konservasi energy listrik. PM2120 merupakan power meter yang telah memenuhi standar dunia industri dengan tingkat prosentasi error pengukuran dibawah satu persen. Sedangkan pada sensor ACS712, PZEM-004T dan ZMPT-101b memiliki prosentase error yang lebih besar. Selain itu, penggunaan sensor tersebut memerlukan tambahan microcontroller untuk mengakses data pengukuran yang menyebabkan ketidakefektifan. PM2120 yang dihubungkan dengan ESP32 dengan menggunakan RS485 memungkinkan pemantauan yang tidak sebatas pada energy listrik, melainkan pemantauan pada sisi tegangan, arus, daya pada masing – masing fasa, frekuensi, factor daya dan harmonisa (harmonisa tegangan dan arus). Berdasarkan hasil pemantauan, gedung perkantoran yang diukur merupakan gedung perkantoran yang menggunakan AC dengan nilai IKE sebesar 4.4 kWh/m²/bulan atau 52.73 kWh/m²/tahun. Nilai ini menunjukkan bahwa gedung tersebut termasuk dalam kriteria sangat efisien. Pengembangan dapat dilakukan dengan mengembangkan konsep *smart building* yang mampu mengotomatisasi pengoptimalan konsumsi energi listrik. Harapan dari penerapan *smart building* adalah efisiensi energi dan pengurangan biaya yang harus dibayarkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. A. N. Saputra, I. B. G. Manuaba dan R. S. Hartati, "Upaya Konservasi Energi Listrik Pada Kawasan Pusat Pemerintahan Kabupaten Badung Mangupraja Mandala," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 18, no. 1, pp. 41 - 46, 2019.
- [2] M. T. Asriyadi dan A. R. Ambo, "AUDIT ENERGI LISTRIK DI INDOMARET PLUS BUMI PERMATA SUDIANG," *Jurnal Teknologi Elektronika*, vol. 1, no. 1, 2017.
- [3] Suhanto, A. S. Prabowo, R. I. Sudjoko dan W. Suryono, "The electrical energy usage of monitoring system at real-time using IoT as the primary policy of energy efficiency," in *International Conference on Advanced Mechanical and Industrial engineering*, Banten, 2020.
- [4] N. Kurniawan, "Electrical Energy Monitoring System and Automatic Transfer Switch (ATS) Controller with the Internet of Things for Solar Power Plants," *Journal of Soft Computing Exploration*, vol. 1, no. 1, pp. 16 - 23, 2020.
- [5] M. F. Pela dan R. Pramudita, "SISTEM MONITORING PENGGUNAAN DAYA LISTRIK BERBASIS INTERNET OF THINGS PADA RUMAH DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI BLYNK," *INFOTECH: JOURNAL OF TECHNOLOGY INFORMATION*, vol. 7, no. 1, pp. 47 - 54, 2021.
- [6] F. Y. Limpraptono, E. Nurcahyo, M. I. Ashari, E. Yandri dan Y. Jani, "Design of Power Monitoring and Electrical Control Systems to Support Energy Conservation," *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences*, vol. 58, pp. 1-7, 2021.
- [7] M. D. Tobi dan V. N. V. Harling, "Wireless electric energy transmission system and its recording system using PZEM004T and NRF24L01 module," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 21, no. 3, pp. 1372 - 1380, 2021.
- [8] I. B. G. Purwania, I. N. S. Kumara dan M. Sudarma, "Application of IoT-Based System for Monitoring Energy Consumption," *International Journal of Engineering and Emerging Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 81 - 93, 2020.
- [9] G. B dan S. George, "IoT Based Smart Energy Management System using Pzem-004t Sensor & Node MCU," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 9, no. 7, 2021.
- [10] Syafii, A. Luthfi dan Y. A. Rozzi, "Design of Raspberry Pi Web-based Energy Monitoring System for Residential Electricity Consumption," in *International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI)*, Bandung - Padang, 2020.
- [11] Y. Badruzzaman, "Real Time Monitoring Data Besaran Listrik Gedung Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang," *Jurnal Teknik Elektro Terapan (JTET)*, vol. 1, no. 2, pp. 50 - 59, 2012.
- [12] M. Shamshiri, C. K. Gan, K. A. Baharin dan M. A. M. Azman, "IoT-based electricity energy monitoring system at Universiti Teknikal Malaysia Melaka," *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 8, no. 2, pp. 683 - 689, 2019.
- [13] K. S. Shinde dan P. H. Bhagat, "Industrial Process Monitoring Using IoT," in *International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*, Palladam, 2017.
- [14] A. W. Biantoro dan D. S. Permana, "ANALISIS AUDIT ENERGI UNTUK PENCAPAIAN EFISIENSI ENERGI DI GEDUNG AB, KABUPATEN TANGERANG, BANTEN," *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, vol. 06, no. 2, pp. 85-93, 2017.
- [15] M. T. Rahmanto dan Krismadinata, "RANCANG BANGUN INTERNET OF THINGS (iot) UNTUK KALKULASI INTENSITAS KONSUMSI ENERGI (IKE)," *Jurnal Teknik*, vol. 13, no. 2, pp. 186-193, 2019.
- [16] P. R. Adam, P. n. Gendroyono dan N. H. Yuninda, "MONITORING SUPLAI TEGANGAN PADA MOTOR INDUKSI TIGA FASA MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER

- ARDUINO DAN SENSOR TEGANGAN ZMPT101B," *Journal of Electrical and Vocationaleducation and Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 37-44, 2020.
- [17] I. Dwisaputra, Yudhi, K. Anggrainy dan S. Novaldy, "Kontrol dan Monitoring Stop Kontak Berbasis Android," *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, vol. 4, no. 1, pp. 23 - 28, 2021.
- [18] M. Taif, M. Y. H. Abbas dan Moh.Jamil, "Penggunaan Sensor ACS712 dan Sensor Tegangan untuk Pengukuran Jatuh Tegangan Tiga Fasa Berbasis Mikrokontroler dan Modul GSM shield," *Jurnal PROtek*, vol. 6, no. 1, pp. 42 - 47, 2019.
- [19] Mario, B. P. Lapanporoa dan Muliadi, "Rancang Bangun Sistem Proteksi dan Monitoring Penggunaan Daya Listrik Pada Beban Skala Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroler ATmega328P," *PRISMA FISIKA*, vol. VI, no. 01, pp. 26 - 33, 2018.
- [20] Tukadi, W. Widodo, M. Ruswiensari dan A. Qomar, "Monitoring Pemakaian Daya Listrik Secara Realtime Berbasis Internet of Things," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VII 2019*, Surabaya, 2019.
- [21] T. Nusa, S. R. Sompie dan M. Rumbayan, "Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Secara Real Time Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 4, no. 2, pp. 19 - 26, 2015.
- [22] H. Berchmans, S. Suaib, I. Agustina, R. Panjaitan dan Winne, *Panduan Penghematan Energi di Gedung Pemerintah Sesuai Amanat Peraturan menteri ESDM No. 13 Tahun 2012 tentang Penghematan Pemakaian Listrik*, Jakarta: USAID Indonesia Clean Energy Development, 2014.