

Penerapan *Internet of Things* (IoT) Pada Smart Water Heater Untuk Efisiensi Energi

Darmawan Saputra¹, Bomo Wibowo Sanjaya², Syaifurrahman³,
Astisza Syahla Ludmilla Parabi⁴

^{1,2,3}Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

⁴Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

E-mail: astiszaparabi@teknik.untan.ac.id

Article Info

Article history:

Received February 16, 2026

Revised March 01, 2026

Accepted March 08, 2026

Keywords:

Hotel, *Internet of Things*, IoT,
Temperature Monitoring,
Water Heater Pump

ABSTRACT

The water-heating facility is an important element in hotels, as it directly influences guest comfort and service quality. A heat pump water heater is preferred for its energy efficiency and cost-effectiveness. However, compressor failure, abnormal current, or phase loss may reduce performance and disrupt the hot water supply. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based temperature and current monitoring system for a heat pump water heater to enable early fault detection through an automatic alarm. The system employs an ESP32 microcontroller as the main controller, connected to a DS18B20 temperature sensor and a PZEM-004T current sensor. Measurement data are displayed on an LCD and the IoT MQTT Panel, enabling technicians to monitor system conditions remotely in real time. Testing was conducted at the Harris Hotel Pontianak by comparing sensor readings with a clamp meter and thermometer. Results show that the system displays accurate real-time temperature data with small deviations and allows current monitoring to detect load imbalance or potential component damage. The integration of temperature and current monitoring improves maintenance efficiency, accelerates fault diagnosis, and supports energy-efficient and sustainable hotel operations.

This is an open access article under the CC BY-SA license.



Article Info

Article history:

Received February 16, 2026

Revised March 01, 2026

Accepted March 08, 2026

Keywords:

Hotel, *Internet of Things*, IoT,
Pemantauan Suhu, Pompa
Panas Air

ABSTRACT

Fasilitas water heater merupakan komponen penting di hotel karena berpengaruh terhadap kenyamanan tamu dan kualitas pelayanan. Sistem heat pump water heater menjadi pilihan efisien karena hemat energi dan mampu menekan biaya operasional. Namun, gangguan kompresor, ketidakwajaran arus listrik, atau kerusakan salah satu fasa dapat menurunkan kinerja dan kontinuitas suplai air panas. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring suhu dan arus berbasis Internet of Things (IoT) pada mesin heat pump water heater untuk mendeteksi gangguan secara dini melalui sinyal alarm otomatis. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang terhubung dengan sensor suhu DS18B20 dan sensor arus PZEM-004T. Data pengukuran ditampilkan pada LCD dan IoT MQTT Panel, memungkinkan teknisi memantau kondisi sistem secara real-time dari jarak jauh. Pengujian di Hotel Harris Pontianak membandingkan hasil pembacaan sensor dengan clamp meter dan termometer. Hasil menunjukkan sistem mampu menampilkan data suhu real-time dengan selisih pengukuran kecil

serta memantau arus untuk mendeteksi ketidakseimbangan beban dan potensi kerusakan. Integrasi pemantauan suhu dan arus meningkatkan efektivitas pengawasan, mempercepat diagnosis gangguan, serta mendukung efisiensi energi dan keberlanjutan operasi hotel.

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.



Corresponding Author:

Darmawan Saputra

Universitas Tanjungpura

Email: astiszaparabi@teknik.untan.ac.id

PENDAHULUAN

Fasilitas water heater merupakan aspek penting di hotel karena berpengaruh langsung terhadap kenyamanan tamu dan kualitas pelayanan. Saat ini, hotel banyak menggunakan pemanas air jenis *heat pump water heater* karena lebih hemat energi dan mendukung upaya penghematan di sektor perhotelan. Urgensi dari penelitian ini yaitu untuk mendeteksi dini gangguan peralatan jika terjadi gangguan sistem *heat pump* seperti air tidak panas dan suhu tidak stabil. Selain itu, meskipun *heat pump* lebih efisien dibanding pemanas konvensional, tetapi tanpa monitoring yang baik, potensi efisiensi energi tidak termanfaatkan secara optimal. Oleh sebab itu, monitoring perlu dilakukan secara cepat agar tidak memicu keluhan tamu akibat terganggunya kontinuitas air panas [1]. Perlindungan konvensional seperti *thermal overload relay* (TOR) hanya memberikan proteksi dasar terhadap beban lebih, tetapi belum menyediakan informasi kondisi sistem secara *real-time* untuk mendukung diagnosis dini dan pemeliharaan prediktif [2], [3]. Studi terkini pada sistem pompa panas dan instalasi pemanas menunjukkan bahwa *fault detection* dan *health monitoring* yang lebih cerdas dibutuhkan untuk mencegah *downtime* tak terduga dan kehilangan efisiensi energi dalam operasi bangunan komersial [4].

Seiring dengan berkembangnya konsep *Internet of Things* (IoT) di bidang manajemen energi dan utilitas bangunan, pemanfaatan sistem *heat pump water heater* di hotel dapat ditingkatkan melalui integrasi sensor dan konektivitas jaringan yang memungkinkan pemantauan kinerja secara waktu nyata dan berkelanjutan [5]. Dalam konteks ini, sistem berbasis IoT memanfaatkan sensor suhu, sensor aliran air, dan sensor arus yang terhubung ke jaringan untuk memantau karakteristik termal maupun listrik dari instalasi pemanas air, sekaligus mengatur batas suhu operasi sesuai standar kenyamanan dan keselamatan [6]. Pengaturan setpoint dan batas ambang ini memungkinkan sistem mengirimkan alarm otomatis kepada teknisi ketika terdeteksi kondisi tidak normal, seperti penurunan kinerja kompresor, ketidakwajaran arus, ataupun penurunan debit air panas, sehingga proses penanganan gangguan dapat dilakukan lebih cepat dan berbasis data [7].

Berbagai penelitian terbaru melaporkan bahwa pemantauan berbasis IoT pada sistem air panas, sistem tata udara, dan peralatan utilitas lainnya berkontribusi pada penghematan energi, penurunan beban puncak, serta optimalisasi jadwal operasi peralatan dalam kerangka

manajemen energi terpadu di sektor perhotelan dan gedung komersial [8], [9], [10]. Selain itu, penerapan monitoring IoT juga terbukti mampu mengurangi keluhan pengguna terkait ketidakstabilan suhu air, meningkatkan reliabilitas suplai air panas, serta mendukung penerapan strategi pemeliharaan prediktif melalui analisis pola data historis [11]. Dengan demikian, integrasi IoT pada sistem *heat pump water heater* menjadi salah satu langkah penting dalam mewujudkan hotel cerdas (*smart hotel*) yang lebih efisien, andal, dan berorientasi pada keberlanjutan operasional.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menerapkan sistem monitoring suhu dan arus pada mesin *heat pump water heater* yang dilengkapi dengan sinyal alarm sehingga gangguan dapat segera terdeteksi. Selain itu, sistem ini ditujukan untuk mempermudah proses pengawasan serta pengambilan data suhu dan arus pada mesin *heat pump water heater*, sehingga teknisi dapat melakukan analisis kinerja dan tindakan perawatan dengan lebih cepat dan tepat. Dengan dukungan teknologi *Internet of Things* (IoT), sistem monitoring ini diharapkan mampu meningkatkan keandalan layanan air panas serta mendukung operasional hotel yang lebih efisien dan responsif.

METODE PENELITIAN

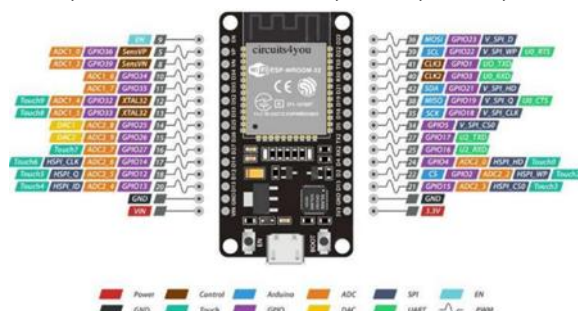
Penelitian ini merupakan penelitian perancangan sistem, dimana melakukan perancangan, mengimplementasikan, dan menguji sistem monitoring suhu dan arus berbasis ESP32, sensor DS18B20, dan PZEM-004T yang kemudian diaplikasikan di hotel.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Hotel Harris Pontianak, Kalimantan Barat, yang dipilih karena menggunakan sistem pemanas air berbasis heat pump dalam operasionalnya. Hotel ini juga memiliki peralatan pendukung pengambilan data, seperti alat ukur listrik dan suhu, sehingga proses pengukuran dapat dilakukan dengan lebih terarah. Kegiatan penelitian, mulai dari pemasangan perangkat, pengambilan data, hingga pengujian sistem, berlangsung selama kurang lebih 6 bulan.

Alat dan Bahan

ESP32 adalah chip terintegrasi yang menyediakan solusi lengkap dan kompak untuk aplikasi (IoT) dan pengembangan produk berbasis wireless. Chip ini menyediakan banyak fitur seperti Wi-Fi, Bluetooth, interface dan GPIO, ADC, DAC, dll.



Gambar 1. ESP32 WROOM32 DevKit

Modul ESP32 berperan penting dalam proses kerja alat secara keseluruhan karena menerima data masukan yang diterima oleh sensor, memantau aktivitas data sensor, melakukan kontrol logika output, hingga mengirimkan berbagai data input/output ke server.

Sensor PZEM-004T adalah sebuah modul elektronik yang berfungsi untuk mengukur daya (*power*), tegangan (*voltage*), arus (*current*), faktor daya (*power factor*), dan frekuensi (*frequency*) pada sistem listrik [12]. Sensor ini mengeluarkan output dengan komunikasi serial yang perlu dihubungkan ke pin RX dan TX pada suatu mikronkontroler.

Tabel 1. Spesifikasi Modul Sensor Arus PZEM-004T

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Tegangan Input	80-260V AC
2	Arus Input	0-100A AC
3	Frekuensi	45-650Hz
4	Akurasi Tegangan	0,5%
5	Akurasi arus	0,5%
6	Daya maksimum	22kW
7	Protokol	Modbus RTU

Sensor suhu DS18B20 adalah jenis sensor yang tahan air sehingga cocok digunakan untuk mengukur suhu pada tempat yang sulit atau basah. Output data dari sensor suhu ini berupa data digital, sehingga tidak perlu khawatir terhadap degradasi data ketika digunakan untuk jarak yang jauh. DS18B20 dapat menghasilkan data dengan resolusi 9 hingga 12-bit yang dapat dikonfigurasi.

CMOS *logic* merupakan salah satu teknologi yang digunakan dalam pembuatan LCD, di mana teknologi ini memantulkan cahaya sekitarnya dan tidak menghasilkan cahaya sendiri (*back-lit*). Beberapa campuran organik yang berada pada lapisan kaca bening dan elektroda yang transparan berbentuk *seven segment* merupakan komponen dasar dalam pembuatan LCD. Saat diberi tegangan, maka elektroda akan aktif dengan medan listrik dan molekul-molekul organik yang berbentuk panjang dan silindris secara otomatis menyesuaikan dengan elektroda pada *seven segment*.

Krisbow *Clamp Meter* AC 400A adalah sebuah alat pengukur listrik yang berfungsi untuk mengukur arus listrik pada kabel atau kawat dengan kapasitas maksimum 400A. Alat ini dapat digunakan untuk melakukan pengukuran pada instalasi listrik AC di berbagai aplikasi seperti rumah, gedung, pabrik, dan lain sebagainya.

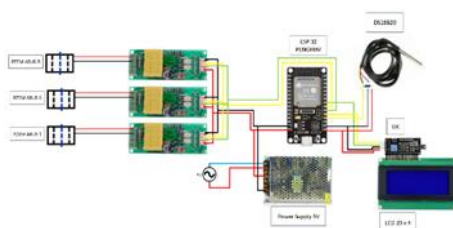
Relay 3 channel adalah sebuah modul *relay* yang terdiri dari tiga buah *relay* dan masing-masing relay dapat dioperasikan secara independen. Modul ini sering digunakan dalam aplikasi kendali otomatis untuk mengendalikan beberapa beban atau sumber daya listrik yang berbeda secara bersamaan. Untuk mengoperasikan modul *relay 3 channel*, dibutuhkan sinyal kontrol dari mikrokontroler atau komputer. Saat sinyal kontrol diaktifkan, masing-masing *relay* akan menarik saklar sehingga dapat menghubungkan atau memutuskan aliran listrik pada beban yang terhubung ke relay tersebut.

Power Supply (PSU) adalah perangkat keras yang berfungsi untuk menyediakan daya listrik yang dibutuhkan oleh komponen-komponen elektronik yang memerlukan tegangan DC.

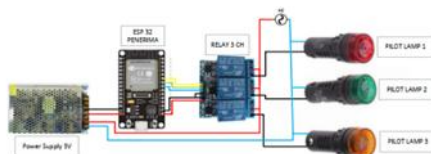
Pemilihan *power supply* yang tepat sangat penting untuk memastikan kinerja dan stabilitas sistem yang optimal.

Perancangan Sistem dan Perangkat Keras

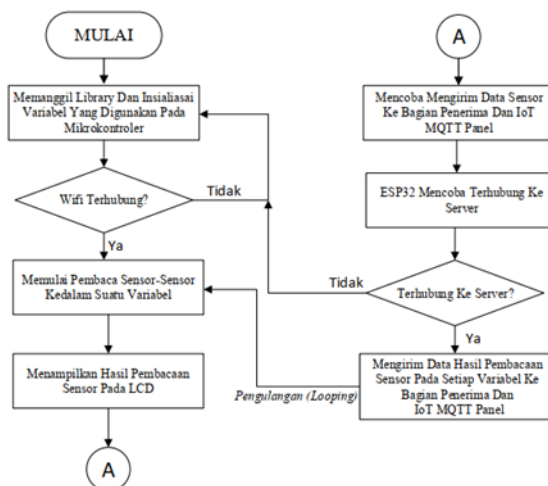
Penelitian yang akan dilakukan adalah merancang sebuah sistem monitoring mesin heat pump water heater menggunakan Internet of Things serta dilengkapi sinyal alarm berupa alarm buzzer. Komponen utama pada penelitian ini adalah mikrokontroler ESP32, yang berfungsi sebagai pusat kendali dan komunikasi terhadap seluruh alat yang dirancang. ESP32 berperan sebagai pusat kendali, yang mengendalikan segala proses pada sistem yang dirancang. Perangkat keras pada penelitian ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu pengirim dan penerima.



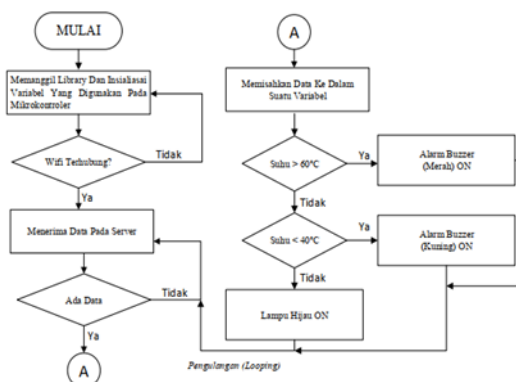
Gambar 2. Rangkaian *wiring* pengirim



Gambar 3. Rangkaian *wiring* penerima



Gambar 4. Diagram Alir Program Sistem Pengirim



Gambar 5. Diagram Alir Program Penerima

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengujian menggunakan beberapa alat ukur yang serupa dengan sensor yang digunakan dalam pengambilan data terhadap variabel yang diukur. Alat ukur yang digunakan yaitu digital *clamp multimeters*, termometer, dan *stopwatch*.

Implementasi Sistem Monitoring

Sistem monitoring terdiri dari dua modul ESP32, yaitu unit pengirim yang membaca suhu kondensor dan arus tiga fasa melalui sensor DS18B20 dan tiga modul PZEM-004T, serta unit penerima yang mengendalikan *pilot lamp* dan *buzzer* sebagai indikator kondisi operasi *heat pump water heater*. Data juga ditampilkan pada LCD 20×4 dan dikirim ke aplikasi IoT MQTT Panel melalui protokol MQTT sehingga dapat diakses secara jarak jauh.



Gambar 6. Tampilan LCD pada Pengirim

Kinerja Sensor Suhu DS18B20

Pengujian akurasi sensor DS18B20 dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor terhadap termometer referensi yang ditempatkan berdampingan pada kondensor *heat pump* di Hotel Harris Pontianak. Pengambilan data dilakukan 30 kali dengan interval 5 menit, pada rentang suhu sekitar 43–45 °C. Hasil menunjukkan rata-rata eror absolut 0,25°C dengan rata-rata persentase eror 0,57%, nilai MSE 0,125, dan RMSE 0,3536°C, sehingga akurasi sensor mencapai sekitar 99,43% untuk kondisi pengujian.

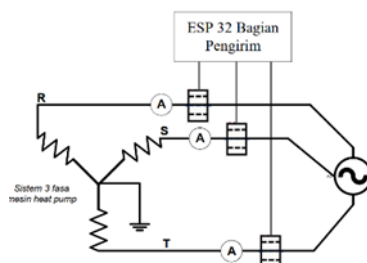


Gambar 7. Perbandingan suhu antara termometer (kiri) dan sensor DS18B20 (kanan)

Gambar 7 menunjukkan nilai suhu termometer dan sensor mendekati sama. Pengambilan menggunakan sensor DS18B20 memiliki kinerja lebih baik karena dapat mengambil data lebih dari sekali dalam posisi *real-time*, sedangkan termometer dilakukan dengan manual dan tidak dapat tercatat dengan otomatis.

Kinerja Sensor Arus PZEM-004T

Pengujian sensor arus PZEM-004T dilakukan pada masing-masing fasa R, S, dan T dengan membandingkan pembacaan sensor terhadap *clamp meter* AC 400 A pada instalasi tiga fasa heat pump. Setiap fasa diukur 15 kali sehingga total 45 data pengukuran. Pada fasa R diperoleh rata-rata persentase eror 0,3%, MSE 0,0006, dan RMSE 0,0258 A. Fasa S juga menunjukkan rata-rata nilai eror 0,3% dengan MSE 0,0009 dan RMSE 0,0304 A. Fasa T memiliki eror lebih kecil, yaitu rata-rata 0,1% dengan MSE 0,0002 dan RMSE 0,0143 A. Seluruh nilai galat berada jauh di bawah eror maksimum 5% yang dinyatakan pada datasheet, menunjukkan akurasi sensor yang memadai untuk pemantauan arus operasi *heat pump water heater*.



Gambar 8. Rangkaian pengujian sensor arus PZEM-004T

Respon Sistem dan Fungsi Alarm

Pengujian waktu respon dilakukan dengan mengubah nilai suhu pada input manual aplikasi IoT MQTT Panel, kemudian mengukur selang waktu hingga perubahan tersebut diterima dan ditampilkan pada modul penerima menggunakan *stopwatch*. Rata-rata waktu respon pada aplikasi IoT MQTT Panel sekitar 0,30 detik, sedangkan respon dari unit pengirim ke unit penerima hingga mengaktifkan *pilot lamp* dan *buzzer* sekitar 2,46 detik dengan standar deviasi 0,15 detik. Hal ini menunjukkan respon sistem yang cukup cepat untuk fungsi peringatan dini di konteks operasi hotel.

Pengujian alarm dilakukan dengan mengubah suhu media air secara bertahap dan mengamati respon *pilot lamp*. Untuk suhu kondensor di bawah 40 °C, *pilot lamp* kuning menyala dan *buzzer* aktif sebagai indikasi suhu kurang dari batas operasi normal. Pada rentang suhu 40–60 °C, *pilot lamp* hijau menyala tanpa *buzzer*, menandakan kondisi operasi normal. Di atas 60°C, *pilot lamp* merah menyala disertai *buzzer* sebagai peringatan suhu tinggi. Logika ini berhasil diaktifkan konsisten pada pengujian rentang 35–64 °C.

Jangkauan Komunikasi di Area Hotel

Pengujian konektivitas dilakukan dengan menempatkan unit pengirim di lantai 12 dan membawa unit penerima ke berbagai lantai Hotel Harris Pontianak. Komunikasi MQTT antara pengirim dan penerima tetap terjaga dari lantai 12 hingga area parkir, sedangkan di ruang pompa bawah tanah koneksi terputus karena tidak tersedianya akses poin Wi-Fi. Hal ini

menunjukkan bahwa jangkauan sistem secara praktis ditentukan oleh ketersediaan jaringan Wi-Fi, bukan oleh jarak fisik antarmodul selama berada dalam cakupan infrastruktur jaringan hotel.

Pembahasan

DS18B20 dan PZEM-004T memberikan akurasi yang cukup tinggi untuk pemantauan suhu kondensor dan arus tiga fasa pada sistem *heat pump water heater* di lingkungan hotel. Rata-rata eror di bawah 1% untuk suhu dan di bawah 0,3% untuk arus menandakan bahwa deviasi pembacaan relatif kecil dibandingkan nilai operasi, sehingga masih sangat memadai sebagai dasar pengambilan keputusan pemeliharaan dan alarm.

Waktu respon sekitar 2,46 detik dari perubahan suhu hingga aktivasi indikator di unit penerima dapat dianggap cukup cepat untuk fungsi peringatan dini, karena perubahan suhu kondensor dan arus kompresor pada sistem *heat pump* umumnya tidak secepat sistem proteksi instan seperti *relay* arus lebih. Dengan demikian, teknisi masih memiliki waktu untuk menindaklanjuti peringatan sebelum terjadi gangguan yang mengganggu kontinuitas suplai air panas.

Pengujian *pilot lamp* menunjukkan bahwa skema ambang suhu yang dibagi menjadi tiga zona, yaitu di bawah 40 °C, 40-60 °C, dan di atas 60°C) bekerja konsisten dan mudah diinterpretasikan. Zona hijau merepresentasikan rentang operasi normal, sementara zona kuning dan merah dikaitkan dengan kondisi potensi gangguan yang memicu *buzzer* sebagai alarm audio. Pendekatan ini mempermudah teknisi dalam melakukan pemantauan visual cepat tanpa harus membaca nilai numerik secara detail dalam operasional hotel.

Dari sisi konektivitas, keberhasilan komunikasi dari lantai 12 hingga area parkir menggambarkan bahwa pemanfaatan jaringan Wi-Fi hotel yang sudah ada cukup untuk mendukung penerapan IoT pada sistem utilitas seperti *heat pump water heater*. Secara keseluruhan, hasil dan pengujian lapangan di Hotel Harris Pontianak menunjukkan bahwa sistem monitoring arus dan suhu berbasis IoT dengan protokol MQTT ini mampu memberikan pemantauan *real-time*, alarm dini, dan akses jarak jauh yang relevan untuk meningkatkan reliabilitas layanan air panas hotel. Sistem yang dikembangkan juga bersifat modular dan berpotensi direplikasi pada instalasi *heat pump* serupa di hotel lain dengan penyesuaian minimal pada konfigurasi sensor dan jaringan.

Penelitian sebelumnya menunjukkan sistem monitoring energi AC dan DC berbasis IoT menggunakan ESP32, PZEM-004T, PZEM-017, dan sensor suhu DS18B20, yang menampilkan data listrik dan suhu secara *real-time* di LCD dan web serta memberi notifikasi otomatis jika suhu atau tegangan melewati batas aman. Hasil pengujian menunjukkan pembacaan sensor cukup akurat dan sistem peringatan bekerja stabil, sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem kapan saja dan mengurangi risiko kerusakan [13]. Selain itu, *smart water heater* berbasis ESP32 yang mengintegrasikan sensor suhu DS18B20 dan koneksi Wi-Fi untuk pemantauan suhu air secara *real-time* melalui aplikasi Telegram. Sistem kontrol *on-off* yang dimodifikasi mampu menjaga suhu air stabil di sekitar 33°C dengan deviasi maksimal sekitar $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$, sekaligus mematikan pemanas secara otomatis saat suhu mencapai batas atas dan menurunkan konsumsi energi hingga sekitar 25% dibanding pemanas konvensional [14]. Penelitian lain menunjukkan sistem pengendali suhu geyser berbasis

ESP32 dengan sensor suhu DS18B20, relay, dan integrasi aplikasi Blynk untuk pemantauan dan kontrol jarak jauh. Pengujian menunjukkan akurasi suhu sekitar $\pm 0,5$ °C, respon aktuator (*relay, valve, heater*) kurang dari 2 detik, dan sistem berjalan stabil dengan kehilangan data yang minimal meskipun catu daya tidak sepenuhnya stabil [15].

KESIMPULAN

Sistem monitoring arus dan suhu pada *heat pump water heater* di Hotel Harris Pontianak berbasis IoT dan protokol MQTT berhasil direalisasikan dan berfungsi sesuai tujuan. Sistem mampu menampilkan data suhu kondensor dan arus tiga fasa secara real-time melalui LCD, *pilot lamp*, dan aplikasi IoT MQTT Panel serta memberikan peringatan dini melalui buzzer ketika suhu berada di luar rentang operasi yang ditetapkan. Pengujian menunjukkan bahwa sensor DS18B20 dan PZEM-004T memiliki akurasi tinggi dengan persentase eror di bawah 1% sehingga mampu digunakan untuk pemantauan operasi. Waktu respon rata-rata sekitar 2,46 detik dari perubahan suhu hingga aktivasi indikator masih memadai untuk mendukung tindakan sebelum terjadi gangguan layanan air panas. Selain itu, uji jangkauan menunjukkan bahwa sistem dapat diakses pada sebagian besar area hotel selama berada dalam cakupan jaringan Wi-Fi, sehingga solusi ini layak diterapkan pada instalasi *heat pump* di hotel lain untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan fasilitas air panas.

Ucapan Terima Kasih (opsional)

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, pihak manajemen dan teknisi Hotel Harris Pontianak, para dosen pembimbing, serta rekan-rekan yang telah memberikan dukungan, bantuan teknis, dan masukan ilmiah hingga penelitian ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. B. Ayoola *et al.*, “Data-driven optimisation of residential air-to-water heat pump performance using IoT and machine learning,” *Energy Build.*, vol. 348, p. 116352, Dec. 2025, doi: 10.1016/j.enbuild.2025.116352.
- [2] X. Liang, K. Chen, S. Chen, X. Zhu, X. Jin, and Z. Du, “IoT-based intelligent energy management system for optimal planning of HVAC devices in net-zero emissions PV-battery building considering demand compliance,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 292, p. 117369, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.enconman.2023.117369.
- [3] J. J. Aguilera *et al.*, “A review of common faults in large-scale heat pumps,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 168, p. 112826, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.rser.2022.112826.
- [4] Y. Qin, W. Li, C. Yuen, W. Tushar, and T. K. Saha, “IIoT-Enabled Health Monitoring for Integrated Heat Pump System Using Mixture Slow Feature Analysis,” *Cornell University*, Apr. 2021, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2104.09876>
- [5] Á. de la Puente-Gil, A. González-Martínez, E. Rosales-Asensio, A.-M. Díez-Suárez, and J.-J. Blanes Peiró, “Efficient Heating System Management Through IoT Smart

- Devices,” *Machines*, vol. 13, no. 8, p. 643, Jul. 2025, doi: 10.3390/machines13080643.
- [6] D. Romansdani, A. Pudir, and W. Budi Mursanto, “Monitoring Arus dan Temperature Discharge Kompresor Berbasis IoT (Internet of Things) untuk Kebutuhan Preventive Maintenance di PT. Mekar Armada Jaya,” *Surya Teknika*, vol. 11, no. 1, pp. 449–454, Jun. 2024.
- [7] N. Torabi, H. B. Gunay, W. O’Brien, and R. Moromisato, “A holistic sequential fault detection and diagnostics framework for multiple zone variable air volume air handling unit systems,” *Building Services Engineering Research and Technology*, vol. 43, no. 5, pp. 605–625, Sep. 2022, doi: 10.1177/01436244221097827.
- [8] G. Ren, M. Yu, D. Yin, S. Huang, H. Xu, and M. Yuan, “Design and optimization of integrated energy management network system based on internet of things technology,” *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, vol. 30, p. 100502, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.suscom.2020.100502.
- [9] R. Carli, G. Cavone, S. Ben Othman, and M. Dotoli, “IoT Based Architecture for Model Predictive Control of HVAC Systems in Smart Buildings,” *Sensors*, vol. 20, no. 3, p. 781, Jan. 2020, doi: 10.3390/s20030781.
- [10] A. Widura, F. Hadiatna, and R. Syamsul Fikri, “IoT-Based Air Conditioning Control System for Energy Saving,” *Advanced Science Engineering Information Technology*, vol. 13, no. 1, Feb. 2023.
- [11] A. Debby Frayudha and A. P. Widikda, “Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education) IoT-Based Predictive Maintenance for AC Motors in Water Treatment Plants Using Multi-Sensor Data and LSTM Networks with GAN Augmentation,” *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, vol. 10, no. 2, pp. 191–204, 2025, doi: 10.21831/elinvo.v10i2.89410.
- [12] S. George Asso and C. Dept, “IoT Based Smart Energy Management System using Pzem-004t Sensor & Node MCU,” *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2021, [Online]. Available: <https://www.amazon.in/Easy-Electronics-16x2->
- [13] M. Bayu Ihsan Firdaus, Desriyanti, and G. Asrofi Buntoro, “Perancangan Sistem Monitoring Energi Listrik AC Dan DC Berbasis Iot dengan Web untuk Efisiensi,” in *Seminar Nasional Fortei Regional*, 2025.
- [14] Q. A. Rihadatul ’aisy, A. Dias Sulisty, and A. A. Ardelia, “Smart Water Heater Berbasis ESP32 dengan Monitoring Real-Time via Telegram,” in *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Bisnis (SENATIB)*, 2025, pp. 1057–1065.
- [15] V. Natu, “Design and Implementation of an Automated Geyser Temperature Control System Using ESP32,” *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 13, no. 6, pp. 1627–1629, Jun. 2025, doi: 10.22214/ijraset.2025.72481.