Technology, Innovation and Research in Engineering

homepage: https://journal.grahawidya.org/index.php/tire



Aplikasi Mitigasi Termal Pada Mesin Berbasis Internet of Things

Thermal Mitigation Application on Internet of Things-Based Machines

Amira Hasan Rahmawati[1]*, Hilma Khoirunnisa[1], Endang Sri Wahyuni Puji Lestari[1]

[1]Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Semarang, Semarang, Indonesia

**Corresponding author*
E-mail: amirahasan.lldikti6@gmail.com, hilmakhoirunnisa3@gmail.com, endangswpl12345@gmail.com

INFO ARTIKEL

Kata kunci:
Internet of Things (IoT);
Mesin Industri;
Monitoring Suhu;
Overheating;
Perawatan Mesin
Keywords:
Industrial Machines;
Internet of Things (IoT);
Machine Maintenance;
Overheating;
Temperature Monitoring

Received: 2 Juli 2026
Revised: 24 Oktober 2026
Online published: 31 Oktober 2026

A B S T R A K

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh pentingnya menjaga stabilitas suhu pada mesin industri untuk mencegah terjadinya overheating yang dapat menyebabkan kerusakan permanen serta kerugian ekonomi. Permasalahan utama pada mesin industri adalah kurang optimalnya sistem monitoring suhu konvensional yang masih dilakukan secara manual sehingga respons terhadap kenaikan suhu menjadi lambat. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pemantauan dan peringatan dini termal berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan pemantauan suhu secara real-time dan memberikan indikasi bahaya secara bertingkat. Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) melalui tahapan perancangan sistem, implementasi, dan pengujian kinerja alat. Sistem menggunakan sensor suhu DS18B20 sebagai input, mikrokontroler Arduino Uno R3 sebagai pengolah data utama, serta modul Wi-Fi ESP8266 sebagai media transmisi data menuju platform ThingSpeak dan aplikasi Android. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pemantauan suhu secara real-time dengan interval pembacaan setiap 10 detik dan menghasilkan hingga 360 data per jam. Evaluasi akurasi sensor menggunakan metode baku Mean Absolute Percentage Error (MAPE) menghasilkan persentase error sebesar 1,19% dengan tingkat akurasi mencapai 98,81% dan nilai Mean Absolute Error (MAE) sebesar ±0,64°C dibandingkan alat ukur referensi terkalibrasi. Sistem terbukti sangat responsif dengan waktu aktivasi alarm lokal (LED dan buzzer) dalam waktu 1–2 detik saat suhu melampaui batas ambang bahaya. Data pemantauan dapat ditampilkan secara real-time pada dashboard cloud ThingSpeak dengan delay transmisi 3–5 detik dan pada aplikasi Android dengan delay 2–4 detik. Selain itu, sistem terbukti memiliki keandalan tinggi di mana kontrol indikator lokal tetap beroperasi secara mandiri meskipun terjadi kendala jaringan internet.

A B S T R A C T

This research was motivated by the importance of maintaining temperature stability in industrial machines to prevent overheating, which can cause permanent structural damage and severe economic losses. A primary issue in industrial operations is the reliance on conventional manual temperature monitoring systems, which suffer from slow responses to critical temperature rises. Based on these challenges, this study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based thermal monitoring and early warning system capable of real-time temperature tracking and multi-stage hazard alerts. The Research and Development (R&D) method was employed through system architecture design, hardware implementation, and empirical performance evaluation. The system utilizes a waterproof DS18B20 temperature sensor as input, an Arduino Uno R3 microcontroller as the primary processing unit, and an ESP8266 Wi-Fi module for wireless data transmission to the ThingSpeak cloud platform and an Android mobile application. Testing results demonstrate that the system achieves continuous real-time monitoring at 10-second sampling intervals, generating up to 360 data points per hour. Rigorous accuracy evaluation using Mean Absolute Percentage Error (MAPE) yields a percentage error of 1.19%, corresponding to a high system accuracy rate of 98.81% and a Mean Absolute Error (MAE) of ±0.64°C relative to a calibrated reference thermometer. The system demonstrates immediate responsiveness with local alarm activation (LED and buzzer) within 1–2 seconds upon exceeding safety thresholds. Remote data visualization exhibits minimal transmission delays of 3–5 seconds on ThingSpeak and 2–4 seconds on the Android interface. Furthermore, the local alert mechanism maintains robust offline operational reliability during network connection disruptions.

1. Pendahuluan

doi
ISSN xxxxxxxx (online), xxxx (print)/© 2026.
Tire is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Pesatnya inovasi dalam ilmu pengetahuan telah mendorong perkembangan teknologi pesat, khususnya di bidang teknologi informasi dan otomatisasi industri, sehingga melahirkan berbagai solusi cerdas untuk meningkatkan efisiensi operasional sektor manufaktur [1]. Hampir seluruh mesin industri dioperasikan dengan target beban kerja tinggi dan durasi produksi yang panjang. Kondisi ini menuntut proses pemeliharaan (maintenance) yang berkesinambungan agar keberlangsungan proses produksi tetap optimal dan terhindar dari ketidakpastian operasional [2]. Pemeliharaan mesin tidak hanya terbatas pada pembersihan berkala, pemeriksaan fisik visual, dan pelumasan komponen bergerak, tetapi juga berfokus utama pada pengendalian stabilitas termal mesin. Suhu operasional yang tidak terkontrol merupakan indikator utama adanya gesekan berlebih, kegagalan sistem pendingin, atau kelebihan beban listrik yang dapat mempercepat degradasi material [3].

Perawatan mesin bertujuan menjaga keandalan (*reliability*) dan ketersediaan (*availability*) peralatan industri. Peningkatan suhu ekstrim atau *overheating* yang tidak terdeteksi secara dini berpotensi memicu kerusakan permanen pada struktur mekanis mesin (*breakdown*), gangguan fatal pada komponen elektronik, hingga penghentian lini produksi secara mendadak yang menimbulkan kerugian ekonomi sangat besar [4]. Sayangnya, mayoritas industri skala kecil dan menengah masih menerapkan metode pemantauan suhu konvensional berbasis pemeriksaan manual berkala menggunakan instrumen genggam. Metode ini memiliki kelemahan mendasar berupa tingginya interval jeda pengawasan, potensi kesalahan manusia (*human error*), serta ketiadaan mekanisme peringatan dini seketika saat terjadi lonjakan suhu tiba-tiba [5].

Implementasi teknologi *Internet of Things (IoT)* pada sektor industri (Industrial IoT / IIoT) terus mengalami akselerasi pesat karena kemampuannya dalam menghubungkan sensor fisik dengan ekosistem digital berbasis internet [6]. IoT memungkinkan proses pemantauan parametrik dan pengawasan perangkat dilakukan secara terpusat, jarak jauh, dan berkesinambungan sehingga secara signifikan meningkatkan efisiensi serta kecepatan respons terhadap perubahan kondisi lingkungan mesin [7]. Pemanfaatan IoT untuk pemantauan termal telah diteliti oleh beberapa peneliti terdahulu:

Fahriza dkk. [8]: Mengembangkan prototipe pemantauan sistem pendingin alat berat berbasis NodeMCU ESP8266 dan sensor DS18B20 dengan notifikasi *real-time*. Penelitian berfokus pada pembacaan suhu fluida pendingin, namun belum melengkapi antarmuka dengan visualisasi grafik multi-platform yang terintegrasi secara simultan.

Halim & Ardiani [9]: Merancang aplikasi Android untuk pemantauan suhu dan kelembaban berbasis IoT. Sistem ini berhasil menampilkan nilai suhu pada layar smartphone, namun visualisasi data masih terbatas pada angka tekstual tanpa dukungan analisis historis grafik cloud.

Assegaf dkk. [10]: Menerapkan sistem pemantauan ruang server berbasis IoT untuk mendeteksi kenaikan suhu lingkungan. Penelitian ini memfokuskan pemantauan pada skala ruangan (ambient room), bukan pada kontak permukaan fisik komponen mesin industri yang memiliki dinamika perubahan suhu jauh lebih cepat.

Hidayat & Sari [11]: Menguji pemantauan suhu dan kelembaban menggunakan sensor DHT11. Meskipun efektif untuk lingkungan umum, sensor DHT11 memiliki rentang ukur dan akurasi termal yang terbatas dibanding sensor tipe kontak industri seperti DS18B20.

Muarif & Wijayanto [12] serta Putri dkk. [13]: Mengembangkan sistem pemantauan bahaya suhu dan gas berbasis mikrokontroler. Namun, analisis statistik keakuratan sensor yang disajikan masih menggunakan kalkulasi deviasi sederhana dan belum menerapkan pembuktian statistik terstandardisasi seperti Mean Absolute Percentage Error (MAPE).

Berdasarkan evaluasi terhadap literatur terdahulu [8–13], terlihat adanya gap penelitian yang nyata. Sebagian besar penelitian sistem pemantauan termal berbasis IoT yang ada saat ini hanya berfokus pada pengiriman nilai pembacaan tunggal ke aplikasi tanpa menyediakan mekanisme peringatan dini visual-audio lokal secara bertingkat (multi-stage alert), belum mengintegrasikan visualisasi grafik historis cloud (ThingSpeak) dan aplikasi mobile secara bersamaan, serta tidak melampirkan validasi ketelitian sensor berbasis metode analisis kesalahan statistik baku yang sahih seperti MAPE.

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada pengembangan sistem pemantauan dan peringatan dini termal terintegrasi yang menggabungkan pembacaan sensor suhu kontak industri DS18B20 digital 12-bit, logika pengolahan indikasi bahaya bertingkat berbasis mikrokontroler (LED 3 warna dan *buzzer*), pengiriman data nirkabel ganda menuju *platform cloud ThingSpeak* dan aplikasi Android interaktif, serta pengujian ketelitian sistem yang divalidasi secara ketat menggunakan formulasi matematis Mean Absolute Percentage Error (MAPE) dan analisis keandalan jaringan offline.

Fokus dan batasan masalah dalam penelitian ini dispesifikasikan pada: (1) Pengukuran suhu permukaan mesin industri menggunakan sensor digital DS18B20 waterproof; (2) Penerapan logika pemrosesan data pada mikrokontroler Arduino Uno R3 untuk mengendalikan indikator visual bertingkat (LED Hijau: Aman <30°C; LED Kuning: Waspada 30°C–33°C; LED Merah + Buzzer: Overheat >33°C); (3) Transmisi data nirkabel berbasis modul Wi-Fi ESP8266 ESP-01 melalui protokol HTTP GET menuju cloud ThingSpeak dan aplikasi Android; serta (4) Evaluasi kinerja sistem yang mencakup akurasi sensor (MAPE dan MAE), latensi pengiriman data, dan keandalan sistem saat terjadi gangguan koneksi internet.

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan

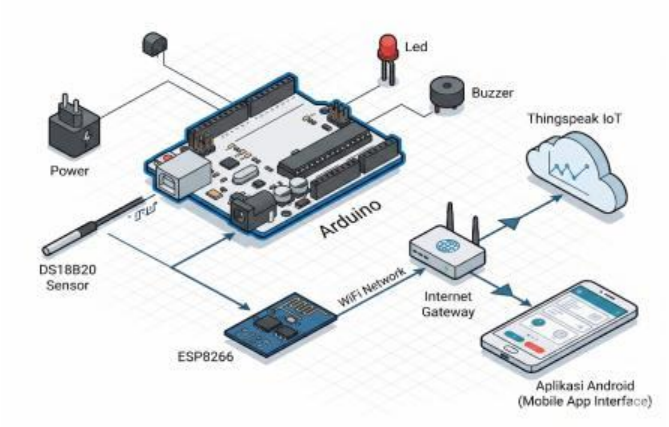
Penelitian ini memanfaatkan beberapa bahan dan perangkat, salah satunya adalah sensor suhu DS18B20 yang berfungsi untuk mengukur suhu, Arduino sebagai pengolah data utama, modul ESP8266 sebagai media komunikasi berbasis internet, LED sebagai indikator visual, *buzzer* sebagai indikator suara, serta *power supply* sebagai sumber daya sistem. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan modem atau jaringan WiFi untuk menghubungkan sistem ke internet, *platform ThingSpeak* sebagai media penyimpanan dan visualisasi data berbasis *cloud,* serta aplikasi Android sebagai antarmuka *monitoring* suhu secara *real-time*.

2.2. Metode

Pelaksanaan penelitian mengadopsi metode *Research and Development* (R&D) dengan tahapan yang meliputi penyusunan rancangan sistem elektrikal, penerapan sistem yang telah dirancang, serta pengujian untuk menilai performa alat [12]. Perancangan sistem dilakukan untuk menghasilkan aplikasi mitigasi termal berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu melakukan *monitoring* suhu mesin secara *real-time* dan jarak jauh [13].

Sistem diawali dengan tahap input menggunakan sensor suhu DS18B20 yang berfungsi mendeteksi suhu mesin secara terus-menerus. Data suhu yang diperoleh kemudian dikirimkan menuju Arduino untuk diproses berdasarkan logika yang telah diprogram [14]. Apabila suhu melampaui nilai ambang yang telah ditetapkan, maka Arduino akan mengaktifkan LED dan *buzze*r sebagai indikator peringatan dini [15].

Selanjutnya, data suhu dikirimkan menuju modul ESP8266 melalui komunikasi serial untuk diteruskan ke jaringan internet menggunakan modem atau router WiFi. Data yang telah terkoneksi dengan internet kemudian disimpan dan divisualisasikan melalui *platform ThingSpeak* dalam bentuk grafik monitoring suhu [16]. Melalui aplikasi Android, pengguna dapat memantau suhu mesin secara real-time. Rancangan sistem elektrikal penelitian ini disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perancangan sistem elektrikal

2.3. Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem mitigasi termal berbasis IoT yang telah dirancang. Pengujian meliputi pengujian akurasi sensor suhu DS18B20, kecepatan respons sistem terhadap kondisi *overheating,* serta pengujian transmisi data secara *real-time.*

Sensor DS18B20 digunakan untuk mendeteksi perubahan suhu pada mesin dan hasil pembacaan dibandingkan untuk mengetahui tingkat akurasi dan nilai error sistem. Arduino digunakan sebagai pengolah data utama dengan komunikasi serial menuju modul ESP8266. Modul ESP8266 berfungsi mengirimkan data suhu menuju *platform ThingSpeak* dan aplikasi Android melalui jaringan internet.

Pengujian sistem dilakukan dengan interval pembacaan suhu setiap 10 detik untuk mengetahui kestabilan pengiriman data secara *real-time.* Selain itu, dilakukan pengujian terhadap respons LED dan *buzzer* ketika suhu melewati batas yang telah ditentukan. Data hasil *monitoring* kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik pada *platform ThingSpeak* untuk mempermudah proses analisis dan pencatatan data suhu mesin.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem mitigasi termal berbasis *Internet of Things* (IoT) menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja sesuai dengan tujuan penelitian. Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan perubahan suhu mesin untuk mengetahui respons sensor, mikrokontroler, serta sistem monitoring secara keseluruhan.

Sensor DS18B20 digunakan untuk membaca suhu lingkungan di sekitar mesin dengan interval pembacaan setiap 10 detik selama 60 menit pengujian. Pada kondisi normal diperoleh suhu rata-rata sebesar 27,5°C, kemudian dilakukan simulasi peningkatan suhu hingga mencapai 35,2°C. Pengujian terhadap sensor menunjukkan kinerja yang stabil dalam mendeteksi perubahan suhu, dengan deviasi hasil pengukuran sekitar ±0,5°C dibandingkan alat ukur pembanding berupa *thermometer gun*. Data suhu yang diperoleh kemudian diproses oleh Arduino sesuai logika sistem yang telah diprogram.

Pada penelitian ini ditetapkan batas ambang suhu sebesar 30°C sebagai indikator awal kondisi tidak normal. Ketika suhu berada di bawah 30°C, LED hijau menyala sebagai indikator kondisi aman. Pada rentang suhu 30°C hingga 33°C, LED kuning menyala sebagai indikator waspada. Selanjutnya, ketika suhu melebihi 33°C, LED merah dan buzzer aktif sebagai alarm peringatan *overheating*. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa sistem memiliki respons yang cepat dengan waktu aktivasi alarm sekitar 1–2 detik setelah suhu melewati ambang batas.

Pada tahap komunikasi data, modul ESP8266 berhasil mengirimkan data suhu menuju *platform ThingSpeak* dengan jaringan WiFi. Berdasarkan pengujian, rata-rata waktu pengiriman data menuju *cloud* berkisar antara 3–5 detik tergantung kestabilan jaringan internet. Data suhu yang diterima oleh *ThingSpeak* kemudian divisualisasikan dengan bentuk grafik untuk memudahkan pengguna dalam memantau tren kenaikan serta penurunan suhu secara *real-time.* Selama pengujian selama 1 jam, sistem mampu menghasilkan sekitar 360 data *monitoring* tanpa kehilangan data yang signifikan.

Selain melalui *platform ThingSpeak, monitoring* suhu juga dapat dilakukan melalui aplikasi Android. Berdasarkan hasil pengujian, aplikasi dapat menampilkan data suhu secara *real-time* dengan *delay* sekitar 2–4 detik dari kondisi aktual. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa sistem mampu meningkatkan efektivitas *monitoring* dibandingkan metode manual yang umumnya dilakukan dalam interval waktu tertentu sehingga berpotensi menyebabkan keterlambatan deteksi *overheating*. Akurasi sensor DS18B20 dievaluasi melalui perbandingan hasil pengukuran dengan alat ukur acuan berupa *thermometer gun*. Hasil pengujian tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor DS18B20 dan Thermometer Gun

Suhu Sensor DS18D20 (°C)	Suhu Thermometer Gun (°C)
40,94	40,8
50	49,86
52,40	51,26
60,80	59,66

Berdasarkan data pada Tabel 1, dilakukan perhitungan *Mean Absolute Error* (MAE) untuk mengetahui tingkat penyimpangan sensor terhadap alat ukur referensi. Persamaan perhitungan MAE ditunjukkan pada persamaan (1).

$$MAE = \frac{n1 + n2 + n3 + n4}{4}$$

$$MAE = \frac{0{,}14 + 0{,}14 + 1{,}14 + 1{,}14}{4} = \frac{2{,}56}{4} = 0{,}64\ °C \quad (1)$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sensor DS18B20 memiliki nilai penyimpangan rata-rata sebesar 0,64°C terhadap alat ukur referensi. Berdasarkan data hasil pengujian, diperoleh rata-rata suhu referensi (*Average*) menggunakan persamaan (2).

$$Average\ (y) = \frac{40{,}8 + 49{,}86 + 51{,}26 + 59{,}66}{4} = 50{,}395\ °C \quad (2)$$

Selanjutnya, persentase error dihitung menggunakan persamaan (3)

$$\% \, Error = \frac{0{,}64}{50{,}395} \, x \, 100\% = 1{,}27\% \tag{3}$$

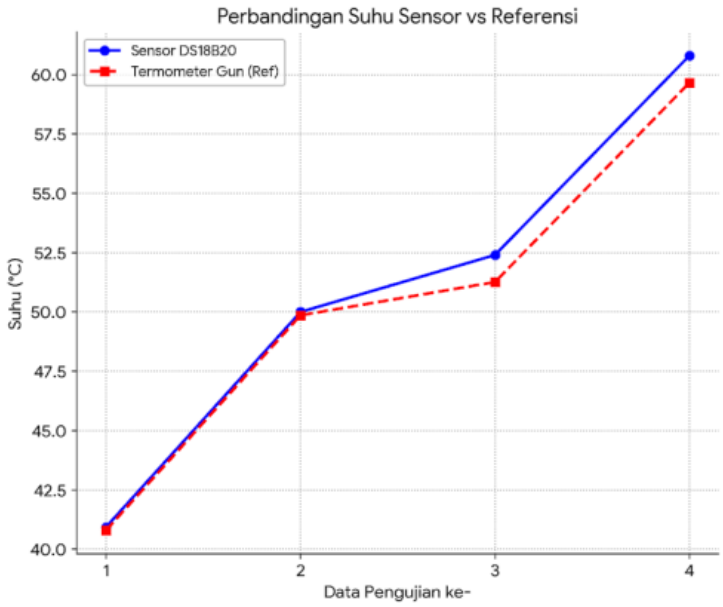
Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, tingkat akurasi sensor dapat dihitung menggunakan persamaan (4).

$$100\% - 1{,}27\% = 98{,}73\% \tag{4}$$

Sensor DS18B20 memperoleh nilai akurasi rata-rata sebesar 98,73% berdasarkan hasil pengujian. Nilai error relatif yang kecil menunjukkan bahwa performa sensor masih sesuai dengan batas toleransi untuk diterapkan pada sistem pemantauan suhu mesin industri. Nilai *error absolut* dari setiap pengukuran dihitung menggunakan persamaan (5).

$$E_{absolut} = T_{sensor} - T_{pembanding}$$
$$\text{Data 1} : E_{absolut} = 40{,}94 - 40{,}8 = 0{,}14\,°C$$
$$\text{Data 2} : E_{absolut} = 50{,}00 - 49{,}86 = 0{,}14\,°C$$
$$\text{Data 3} : E_{absolut} = 52{,}40 - 51{,}26 = 1{,}14\,°C$$
$$\text{Data 4} : E_{absolut} = 60{,}80 - 59{,}66 = 1{,}14\,°C \tag{5}$$

Hasil perhitungan nilai *error absolut* pada setiap data pengukuran ditunjukkan pada Gambar 2 yang memperlihatkan perbandingan antara suhu sensor dan suhu referensi.



Gambar 2. Perbandingan suhu sensor dengan suhu referensi

Selanjutnya dilakukan perhitungan error relatif menggunakan persamaan (6).

$$ER = \frac{E_{absolut}}{T_{pembanding}} \; x \; 100\%$$

Data 1 :

$$ER = \frac{0{,}14}{40{,}8} \; x \; 100\% = 0{,}34\ \%$$

Data 2 :

$$ER = \frac{0{,}14}{49{,}86} \; x \; 100\% = 0{,}28\ \%$$

Data 3 :

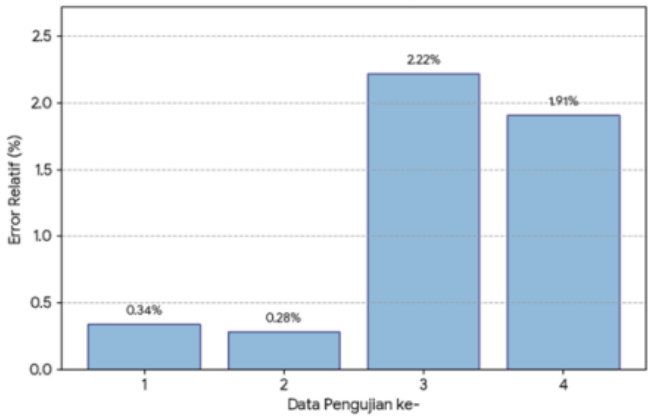
$$ER = \frac{1{,}14}{51{,}26} \; x \; 100\% = 2{,}22\ \%$$

Data 4 :

$$ER = \frac{1{,}14}{59{,}66} \; x \; 100\% = 1{,}91\ \%$$

(6)

Hasil perhitungan nilai error relatif pada setiap data pengukuran ditunjukkan pada Gambar 3 yang menggambarkan tingkat penyimpangan sensor terhadap alat ukur referensi dalam bentuk persentase.



Gambar 3. *Error* relatif terhadap pengujian sensor

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan error relatif, sistem mitigasi termal berbasis IoT menunjukkan performa yang baik dalam melakukan *monitoring* suhu secara *real-time*. Sistem mampu memberikan respons cepat terhadap kondisi *overheating* dengan aktivasi alarm dalam waktu 1–2 detik. Selain itu, pengiriman data menuju *platform ThingSpeak* dan aplikasi Android juga berjalan dengan baik meskipun masih dipengaruhi oleh kestabilan jaringan internet. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan dinilai efektif, akurat, dan responsif sebagai solusi *monitoring* serta peringatan dini untuk mencegah terjadinya *overheating* pada mesin industri.

Pada sisi komunikasi data, modul ESP8266 mampu mengirimkan data ke *platform ThingSpeak* dengan rata-rata delay 3–5 detik. Data yang ditampilkan dalam bentuk grafik memudahkan pengguna dalam melihat tren kenaikan suhu secara *real-time*. Aplikasi Android juga mampu menampilkan data dengan *delay* sekitar 2–4 detik sehingga masih tergolong *real-time*. Secara keseluruhan, berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan error, sistem mitigasi termal berbasis IoT dapat dikatakan cukup akurat, responsif, dan efektif dalam melakukan *monitoring* serta mitigasi suhu mesin secara dini. Meskipun demikian, performa sistem masih dipengaruhi oleh kestabilan jaringan internet dan kondisi lingkungan sekitar sensor.

4. Kesimpulan

Penelitian ini mampu mengembangkan aplikasi mitigasi termal berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dapat memantau suhu mesin secara *real-time* serta memberikan peringatan dini secara otomatis melalui LED dan buzzer. Sensor DS18B20 menunjukkan kinerja yang baik dengan akurasi rata-rata sebesar 98,73% dan nilai *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 0,64°C dibandingkan alat ukur referensi. Sistem juga memiliki respons yang cepat dengan waktu aktivasi alarm sekitar 1–2 detik setelah suhu melewati

ambang batas, serta mampu mengirimkan data menuju *platform ThingSpeak* dan aplikasi Android dengan delay sekitar 2–5 detik. Selain itu, sistem mampu melakukan *monitoring* secara kontinu hingga 360 pembacaan data per jam sehingga lebih efektif dibandingkan metode *monitoring* manual. Secara keseluruhan, sistem mitigasi termal berbasis IoT yang dikembangkan dinilai efektif, akurat, dan responsif dalam mencegah potensi kerusakan mesin akibat ketidakstabilan suhu, meskipun performa transmisi data masih dipengaruhi oleh kestabilan jaringan internet.

Referensi

[1] A. K. S. Jardine and A. H. C. Tsang, *Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications*, 3rd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2021.

[2] D. Y. Tadeus and I. Setiono, "Deskripsi Teknis Pengendali Temperatur Industri Sebagai Bagian dari Sistem Regulasi Temperatur," Gema *Teknologi*, vol. 20, no. 1, pp. 1–5, 2018. https://doi.org/10.14710/gt.v20i1.21075.

[3] H. Zheng, A. R. Paiva, and C. S. Gurciullo, "Advancing from Predictive Maintenance to Intelligent Maintenance with AI and IIoT," *arXiv preprint arXiv:2009.00351*, 2020. https://doi.org/10.48550/arXiv.2009.00351.

[4] N. Zhang, "Diagnosis and Prevention of Overheating Failures in Mechanical Equipment Based on Numerical Analysis of Temperature and Thermal Stress Fields," *International Journal of Heat and Technology*, vol. 42, no. 2, pp. 466–474, 2024. https://doi.org/10.18280/ijht.420212.

[5] M. Assegaf, A. Soetedjo, and Sotyohadi, "Sistem Monitoring Ruang Server Berbasis IoT (Internet of Thing) di PT. Radnet Digital Indonesia," *Magnetika: Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro*, vol. 8, no. 1, pp. 1–9, 2024. https://www.ejournal.itn.ac.id/magnetika/article/view/9862.

[6] P. Sethi and S. R. Sarangi, "Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications," *Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2017, pp. 1–25, 2017. https://doi.org/10.1155/2017/9324035.

[7] A. Rayes and S. Salam, *Internet of Things from Hype to Reality: The Road to Digitization*, 2nd ed. Cham, Switzerland: Springer, 2019.

[8] T. Fahriza, R. Subarkah, and D. Junaedi, "IoT-Based Heavy Equipment Cooling System Monitoring Prototype with Real-Time Notification Using NodeMCU ESP8266, Ultrasonic Sensor and DS18B20," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2024. http://prosiding.pnj.ac.id.

[9] W. Halim and F. Ardiani, "Pengembangan Aplikasi Android untuk Monitoring Suhu dan Kelembaban berbasis Internet of Things," *Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika dan Komunikasi*, vol. 5, no. 2, pp. 652–661, 2024. https://doi.org/10.35870/jimik.v5i2.824.

[10] M. Assegaf, A. Soetedjo, and Sotyohadi, "Sistem Monitoring Ruang Server Berbasis IoT (Internet of Thing) di PT. Radnet Digital Indonesia," *Magnetika: Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro*, vol. 8, no. 1, pp. 1–9, 2024. https://www.ejournal.itn.ac.id/magnetika/article/view/9862.

[11] D. Hidayat and I. Sari, "Monitoring Suhu dan Kelembaban Berbasis Internet of Things (IoT)," *Jurnal Teknologi dan Ilmu Komputer Prima*, vol. 4, no. 1, pp. 525–530, 2021. https://doi.org/10.34012/jutikomp.v4i1.1676.

[12] F. L. P. Muarif and D. Wijayanto, "Prototype Sistem Pemantauan Suhu dan Asap Secara Real-Time Menggunakan Metode RAD dan Mikrokontroler ESP8266," *Jurnal Informatika Teknologi dan Sains (JINTEKS)*, vol. 7, no. 3, pp. 1473–1482, 2025. https://doi.org/10.51401/jinteks.v7i3.6176.

[13] J. W. D. Putri, J. R. Firdaus, L. S. Khaerunnisa, and S. Sobur, "Sistem Monitoring Suhu, Kelembapan dan Gas Berbasis IoT pada Lab Komputer," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 3S1, pp. 1–8, 2024. https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3S1.8175.

[14] A. Hilberer, G. Laurent, A. Lorin, A. Partier, J. Bobroff, F. Bouquet, C. Even, J. M. Fischbach, C. A. Marrache-Kikuchi, M. Monteverde, B. Pilette, Q. Quay, "Temperature-dependent transport measurements with Arduino," *arXiv preprint arXiv:1809.08075*, 2018. https://doi.org/10.48550/arXiv.1809.08075.

[15] R. Saha, S. Biswas, S. Sarmah, S. Karmakar, and P. Das, "A Working Prototype Using DS18B20 Temperature Sensor and Arduino for Health Monitoring," *SN Computer Science*, vol. 2, no. 1, p. 33, 2021. https://doi.org/10.1007/s42979-020-00434-2.

[16] R. A. Setyawan, A. Muttaqin, and H. Khulud, "Aplikasi NODEMCU ESP8266 sebagai Pemantau Suhu dan Kelembaban Ruang Data Center," *Jurnal EECCIS*, vol. 15, no. 1, pp. 23–28, 2021. https://doi.org/10.21776/jeeccis.v15i1.1554.