

SISTEM DETEKSI DINI SUHU BERLEBIH PADA RUANG SERVER BERBASIS *INTERNET OF THINGS* DENGAN NOTIFIKASI *REAL-TIME*

Indra Riyana Rahadjeng¹, Muhammad Fahmi², Abdul Rahman Kadafi³,
Ibnu Rusdi⁴, Fitri Latifah⁵

^{1,2,3,4}Universitas Bina Sarana Informatika, Jakarta, Indonesia

⁵Universitas Nusa Mandiri, Jakarta, Indonesia

*Corresponding Author:

iyana.irr@bsi.ac.id

Abstrak.

Server rooms are one of the essential infrastructures supporting the operation of information systems and digital services; therefore, the stability of their environmental conditions must be maintained. Undetected temperature increases can affect the performance and reliability of server hardware. Meanwhile, manual monitoring has limitations because it cannot be performed continuously and does not allow administrators to obtain server room condition information when they are in different locations. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based system for detecting excessive temperature in a server room with real-time notification support. The system uses a NodeMCU ESP8266 as the microcontroller, a DHT11 sensor to measure temperature and humidity, and a relay module to control the cooling fan. A passive buzzer is used as a local alarm when the temperature exceeds the 30°C threshold, while the Telegram platform is used to send temperature condition notifications to users via the internet. The implementation results show that the system is able to automatically monitor temperature and humidity and activate the cooling fan when the temperature reaches the predetermined condition. Testing also shows that temperature notifications can be delivered to users through Telegram in real time, enabling remote monitoring of the server room. The developed system can serve as a simple and affordable monitoring and early detection solution to help improve the operational security of the server room. The limitations of this study lie in the accuracy level of the DHT11 sensor and the system's dependence on a stable internet connection.

Keyword: Internet of Things, NodeMCU ESP8266, DHT11, server room, temperature detection, Telegram

PENDAHULUAN

Perkembangan transformasi digital telah meningkatkan ketergantungan organisasi terhadap infrastruktur teknologi informasi dalam mendukung penyimpanan, pengolahan, dan pertukaran data. Salah satu komponen penting dalam infrastruktur tersebut adalah ruang server yang berfungsi sebagai lingkungan operasional bagi berbagai perangkat komputasi dan jaringan. Keberlangsungan layanan teknologi informasi tidak hanya dipengaruhi oleh aspek perangkat keras dan perangkat lunak, tetapi juga oleh kondisi lingkungan tempat perangkat tersebut beroperasi. Oleh karena itu, pengelolaan lingkungan ruang server, khususnya pengendalian suhu dan kelembapan, menjadi bagian penting dalam menjaga keandalan dan ketersediaan layanan teknologi informasi [1].

Suhu merupakan salah satu parameter lingkungan yang perlu mendapatkan perhatian khusus dalam pengelolaan ruang server. Perangkat komputasi menghasilkan panas selama beroperasi sehingga akumulasi panas yang tidak dikendalikan dapat menyebabkan terbentuknya hotspot dan meningkatkan beban kerja sistem pendingin. Kondisi termal yang tidak optimal dapat berpengaruh terhadap keandalan perangkat, mempercepat degradasi komponen, serta

meningkatkan risiko gangguan terhadap keberlangsungan layanan. Penelitian mengenai pengelolaan termal pada pusat data menunjukkan bahwa sistem pendinginan yang tidak efektif dapat menimbulkan kondisi panas lokal yang berpotensi menurunkan keandalan perangkat teknologi informasi [3]. Dengan demikian, pemantauan suhu secara berkelanjutan diperlukan untuk mendeteksi perubahan kondisi lingkungan sebelum berkembang menjadi permasalahan yang lebih serius.

Permasalahan menjadi semakin kompleks pada ruang server dengan sumber daya pengelolaan yang terbatas, khususnya pada institusi kecil dan menengah. Pemantauan suhu yang masih dilakukan secara manual mengharuskan pengelola melakukan pemeriksaan secara berkala dan berada dalam jangkauan lokasi server. Pendekatan tersebut memiliki keterbatasan karena perubahan suhu dapat terjadi di luar waktu pemeriksaan, sedangkan pengelola tidak selalu berada di lokasi. Keterlambatan dalam mengetahui kenaikan suhu dapat menyebabkan tindakan korektif tidak segera dilakukan. Oleh sebab itu, diperlukan sistem yang tidak hanya mampu mengukur kondisi lingkungan secara otomatis, tetapi juga dapat memberikan peringatan ketika parameter suhu mencapai kondisi yang telah ditentukan.

Penerapan teknologi Internet of Things (IoT) dapat menjadi salah satu pendekatan untuk mengatasi permasalahan tersebut. IoT memungkinkan perangkat sensor, mikrokontroler, jaringan komunikasi, dan platform aplikasi saling terhubung sehingga data lingkungan dapat dikumpulkan dan dikirimkan secara otomatis. Konsep IoT juga mendukung pemantauan jarak jauh karena data dari sensor dapat diteruskan melalui jaringan internet kepada pengguna tanpa mengharuskan pengguna berada di lokasi perangkat [4]. Pada sistem pemantauan lingkungan, penggunaan sensor digital yang terhubung dengan mikrokontroler dan jaringan Wi-Fi memungkinkan proses pengukuran berlangsung secara berkelanjutan serta mendukung penyampaian informasi secara real-time [5].

Sejumlah penelitian sebelumnya telah menunjukkan penerapan IoT dalam pemantauan kondisi ruang server dan lingkungan dengan parameter suhu serta kelembapan. Ridla dan Rahman mengembangkan prototipe monitoring suhu dan kelembapan ruang server berbasis NodeMCU dan DHT22 yang dapat dipantau secara jarak jauh melalui platform Blynk [7]. Penelitian lain mengembangkan sistem pemantauan suhu dan kelembapan ruang server berbasis ESP32, sensor DHT22, serta platform ThingSpeak untuk penyimpanan dan visualisasi data secara real-time [8]. Selain itu, penerapan NodeMCU ESP8266 dan sensor DHT11 juga telah digunakan dalam sistem pemantauan suhu dan kelembapan berbasis IoT untuk memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan dari jarak jauh [9]. Hasil penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa IoT memiliki potensi untuk meningkatkan efektivitas pemantauan lingkungan, terutama karena mampu mengurangi ketergantungan terhadap pemantauan secara langsung di lokasi.

Meskipun demikian, masih terdapat peluang pengembangan pada sistem pemantauan yang berfokus pada respons cepat terhadap kondisi suhu berlebih. Sistem monitoring yang hanya menampilkan data suhu belum tentu memberikan peringatan secara langsung atau melakukan tindakan otomatis ketika suhu melewati batas yang telah ditentukan. Padahal, sistem deteksi dini idealnya mampu mengintegrasikan proses pembacaan sensor, pengambilan keputusan berdasarkan ambang batas, tindakan pengendalian, serta penyampaian informasi kepada pengguna. Pemanfaatan mikrokontroler ESP8266 sebagai perangkat pengolah dan komunikasi Wi-Fi menawarkan pendekatan yang relatif sederhana dan ekonomis untuk membangun sistem IoT [10]. Di sisi lain, penggunaan sensor DHT11 dapat menjadi alternatif yang terjangkau untuk pemantauan suhu dan kelembapan, meskipun keterbatasan akurasi sensor perlu dipertimbangkan dalam interpretasi hasil pengukuran [11].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi suhu berlebih pada ruang server berbasis Internet of Things dengan notifikasi real-time. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan NodeMCU ESP8266 sebagai pusat pengendali, sensor DHT11 untuk membaca suhu dan kelembapan, modul relay untuk mengendalikan kipas

pendingin, serta passive buzzer sebagai peringatan lokal. Ketika suhu mencapai atau melebihi ambang batas yang ditetapkan sebesar 30°C, sistem akan mengaktifkan mekanisme pendinginan dan memberikan peringatan kepada pengguna melalui platform Telegram. Penetapan ambang batas 30°C dalam penelitian ini digunakan sebagai parameter operasional sistem untuk mendeteksi kondisi suhu yang dianggap perlu mendapatkan respons pendinginan. Dengan mengintegrasikan pemantauan, deteksi ambang batas, pengendalian pendinginan, alarm lokal, dan notifikasi jarak jauh dalam satu sistem, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi yang sederhana, terjangkau, dan praktis untuk mendukung pemantauan kondisi ruang server secara lebih responsif..

METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam pengembangan sistem ini meliputi tahap perancangan, implementasi, dan pengujian sistem deteksi suhu berlebih berbasis Internet of Things (IoT). Pendekatan IoT dipilih karena memungkinkan integrasi sensor, mikrokontroler, aktuator, dan layanan komunikasi data dalam satu ekosistem pemantauan yang terhubung jaringan [3]. Dalam konteks ruang server, pengendalian suhu merupakan aspek kritis karena stabilitas termal berpengaruh terhadap keandalan perangkat dan kontinuitas layanan [4]. Sistem dirancang dengan mengintegrasikan sensor DHT11, mikrokontroler NodeMCU ESP8266, modul relay, kipas pendingin, passive buzzer, serta platform Telegram sebagai media penyampaian notifikasi. NodeMCU ESP8266 berfungsi sebagai pusat pengendali yang menerima data hasil pembacaan sensor, memproses data berdasarkan logika ambang batas suhu, serta mengirimkan informasi kepada pengguna melalui jaringan Wi-Fi [5].

Pada tahap implementasi, sensor DHT11 digunakan untuk membaca parameter suhu dan kelembapan secara berkala. Sensor ini dipilih karena mampu menyediakan data lingkungan dasar yang diperlukan dalam proses pemantauan suhu berbasis mikrokontroler [6]. Data hasil pembacaan kemudian diproses oleh NodeMCU ESP8266 dan dibandingkan dengan nilai ambang batas suhu yang telah ditentukan dalam penelitian ini, yaitu 30°C. Apabila suhu yang terdeteksi berada di atas ambang batas tersebut, sistem akan mengaktifkan modul relay untuk menyalakan kipas pendingin dan mengaktifkan passive buzzer sebagai alarm lokal. Dengan mekanisme tersebut, sistem dapat memberikan respons otomatis terhadap peningkatan suhu tanpa menunggu intervensi langsung dari pengguna.

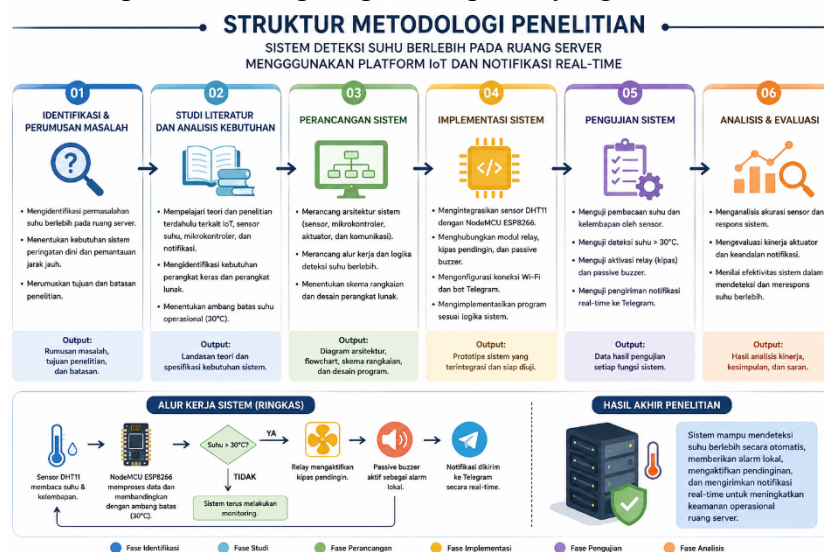
Selain memberikan respons secara lokal, sistem juga dirancang untuk mendukung pemantauan jarak jauh. NodeMCU ESP8266 memanfaatkan koneksi Wi-Fi untuk mengirimkan informasi kondisi suhu kepada pengguna melalui bot Telegram. Notifikasi tersebut berfungsi sebagai peringatan ketika sistem mendeteksi suhu yang telah melewati ambang batas, sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi ruang server meskipun tidak berada di lokasi. Integrasi Telegram dipilih sebagai media notifikasi karena memungkinkan penyampaian informasi secara real-time melalui jaringan internet tanpa memerlukan pengembangan aplikasi pemantauan khusus [7].

Penggunaan modul relay dalam sistem berfungsi sebagai komponen penghubung antara rangkaian kendali pada mikrokontroler dan perangkat aktuator berupa kipas pendingin. Relay memungkinkan proses pengendalian beban dilakukan berdasarkan sinyal keluaran dari NodeMCU ESP8266, sehingga kipas dapat diaktifkan secara otomatis ketika kondisi suhu memenuhi kriteria yang telah ditentukan. Dalam implementasinya, aspek kelistrikan dan karakteristik beban kipas perlu diperhatikan agar penggunaan relay sesuai dengan kebutuhan sistem dan dapat mendukung pengoperasian perangkat secara aman.

Secara keseluruhan, mekanisme kerja sistem dilakukan secara berulang melalui tahapan pembacaan sensor, pemrosesan data, perbandingan terhadap ambang batas, pengambilan keputusan, pengendalian aktuator, dan pengiriman notifikasi. Alur tersebut sejalan dengan prinsip

arsitektur IoT yang menekankan akuisisi data, konektivitas, pemrosesan, dan penyampaian informasi secara terintegrasi [1–3]. Apabila suhu berada pada atau di bawah ambang batas yang ditentukan, sistem tetap melakukan pemantauan dan kipas berada pada kondisi yang telah ditetapkan dalam program. Sebaliknya, apabila suhu melebihi 30°C, sistem mengaktifkan kipas dan buzzer serta mengirimkan notifikasi kepada pengguna melalui Telegram. Siklus tersebut memungkinkan sistem melakukan deteksi dini dan memberikan respons otomatis terhadap kondisi suhu berlebih pada ruang server.

Tahap pengujian dilakukan untuk mengevaluasi keberhasilan setiap fungsi utama sistem, meliputi akurasi pembacaan sensor, keberhasilan deteksi berdasarkan ambang batas suhu, respons relay dalam mengaktifkan kipas, aktivasi buzzer sebagai alarm lokal, serta keberhasilan pengiriman notifikasi melalui Telegram. Pengujian juga dilakukan untuk memastikan bahwa sistem dapat menjalankan proses monitoring secara berkelanjutan dan memberikan respons sesuai dengan kondisi suhu yang terdeteksi. Hasil pengujian selanjutnya digunakan untuk menilai kinerja sistem dalam mendukung pemantauan dan deteksi dini suhu berlebih pada ruang server sesuai dengan kebutuhan operasional lingkungan komputasi yang dikendalikan secara termal [4].



Gambar 1. Metodologi Penelitian Sistem Pendeteksi Suhu Dini

Tahap pengujian dilakukan untuk mengevaluasi keberhasilan setiap fungsi utama sistem, meliputi akurasi pembacaan sensor, keberhasilan deteksi berdasarkan ambang batas suhu, respons relay dalam mengaktifkan kipas, aktivasi buzzer sebagai alarm lokal, serta keberhasilan pengiriman notifikasi melalui Telegram. Pengujian juga dilakukan untuk memastikan bahwa sistem dapat menjalankan proses monitoring secara berkelanjutan dan memberikan respons sesuai dengan kondisi suhu yang terdeteksi. Hasil pengujian selanjutnya digunakan untuk menilai kinerja sistem dalam mendukung pemantauan dan deteksi dini suhu berlebih pada ruang server.).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Platform IoT

Implementasi ciptaan ini menghasilkan prototipe sistem deteksi dini suhu pada miniatur ruang server, yang memanfaatkan integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak. Modul Relay 3V DC untuk mengendalikan Kipas Angin 5V, dan Buzzer Pasif (TMB12A03) sebagai peringatan suara lokal. Perangkat lunak yang digunakan adalah Arduino IDE untuk pengkodean dan library pendukung seperti CTBot dan ESP8266WiFi untuk koneksi dan komunikasi. Notifikasi real-time dikonfigurasi melalui Telegram, dengan BotFather digunakan untuk mendapatkan token bot. Dokumentasi visual memperlihatkan hasil implementasi alat di ruang server dan tampilan notifikasi yang diterima pada Telegram.

Tabel 1. Hasil Pemantauan hasil deteksi suhu berlebih pada Ruang Server menggunakan Platform IoT dan Notifikasi Real-Time

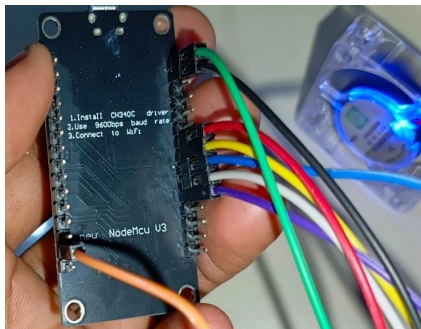
No.	Parameter	Deskripsi	Respons Kritis (>30°C)	Sistem (Suhu >30°C)
1	Waktu / Pembacaan Ke-	Stempel waktu atau urutan saat pembacaan data dilakukan.	-	
2	Suhu (°C)	Nilai suhu yang dibaca oleh Sensor DHT11.	Nilai akan melebihi 30°C.	
3	Kelembapan (%)	Nilai kelembapan yang dibaca oleh Sensor DHT11.		
4	Status Lokal	Indikasi aktivitas Buzzer Pasif.	Aktif	
5	Status Pendinginan	Indikasi aktivitas Kipas DC melalui Modul Relay.	Aktif	
6	Notifikasi Telegram	Status pengiriman pesan peringatan.	Terkirim	

Pada suhu ruang server mencapai ambang batas kritis, yang dalam sistem ini ditetapkan sebagai melebihi 30°C Parameter yang dicatat meliputi stempel Waktu/Pembacaan Ke- serta nilai aktual Suhu 0°C dan Kelembapan 0°C yang dibaca oleh Sensor DHT11. Kolom yang paling penting dalam tabel ini adalah Respons Sistem Kritis, yang mengonfirmasi bahwa semua tindakan pencegahan telah dipicu ketika suhu melebihi batas yang ditentukan. Respons yang diharapkan dicatat sebagai Aktif untuk Status Lokal (Buzzer berbunyi) dan Status Pendinginan (Kipas menyala melalui Modul Relay). Selain itu, status Notifikasi Telegram dicatat sebagai Terkirim, yang membuktikan bahwa sistem telah berhasil memberikan peringatan dini dan informasi suhu real-time kepada pengguna dari jarak jauh. Hasil fungsionalitas Perangkat Keras dan Akurasi Sensor Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi antara mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dan sensor DHT11 mampu menghasilkan sistem pemantauan yang stabil dan responsif. Sensor DHT11 berhasil melakukan pembacaan suhu dan kelembapan secara kontinu dengan interval pengambilan data yang cepat. Secara teknis, meskipun DHT11 merupakan sensor kelas menengah, hasil pengujian membuktikan bahwa sensor ini cukup sensitif untuk mendeteksi perubahan suhu lingkungan di ruang server sekecil apa pun. Data yang dibaca oleh sensor kemudian diolah oleh NodeMCU untuk ditampilkan pada antarmuka sistem dan menjadi acuan utama bagi pengambilan keputusan otomatis oleh perangkat.



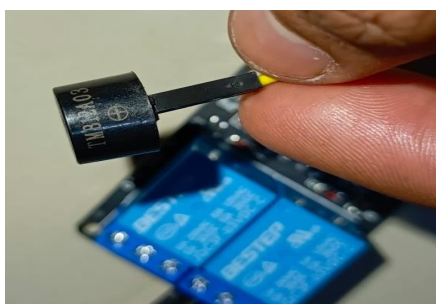
Gambar 1. Model miniatur sistem atau prototipe alat elektronik

Miniatur ini merepresentasikan sebuah prototipe sistem elektronik, yang kemungkinan besar merupakan proyek Internet of Things (IoT) yang beroperasi di dalam model ruangan. Inti dari rangkaian ini adalah NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler berkemampuan Wi-Fi, yang mengendalikan perangkat.



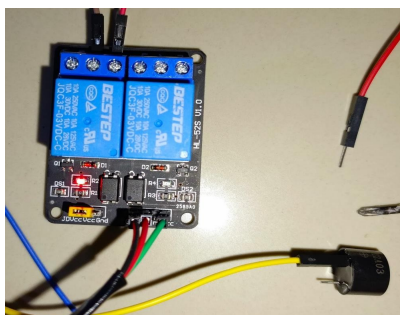
Gambar 2. Rangkaian alat pada modul NodeMCU ESP8266 yang terhubung dengan kabel jumper

Modul NodeMCU ESP8266 adalah sebuah perangkat keras mikrokontroler yang menjadi tulang punggung bagi banyak proyek Internet of Things (IoT) saat ini. Keunggulan utamanya terletak pada integrasi chip Wi-Fi.



Gambar 3. Bagian belakang modul NodeMCU V3 yang terhubung ke kabel USB

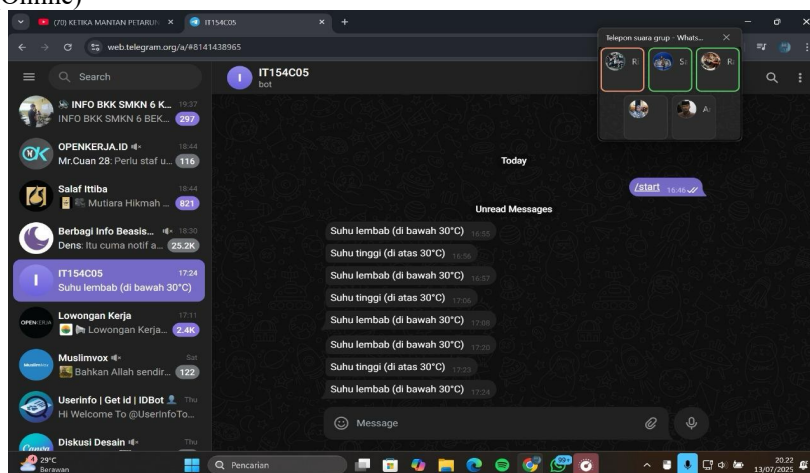
NodeMCU ESP8266 berfungsi sebagai otak utama sistem Internet of Things (IoT), memanfaatkan konektivitas Wi-Fi terintegrasi untuk memproses data dan mengendalikan perangkat secara nirkabel. Perangkat ini dapat diprogram untuk memantau kondisi lingkungan atau menerima perintah dari server internet. Untuk memberikan respons atau notifikasi audio, sistem ini mengintegrasikan Buzzer Aktif (TMB12A03).



Gambar 4. Rangkaian alat pada modul relay dua saluran

Implementasi IoT

Sistem elektronik ini berpusat pada NodeMCU ESP8266 V3, sebuah mikrokontroler berkemampuan Wi-Fi yang bertindak sebagai otak untuk pemrosesan data dan pengambilan keputusan. Untuk mengendalikan perangkat berdaya tinggi (seperti kipas, lampu, atau peralatan AC) yang tidak dapat diaktifkan langsung oleh tegangan rendah NodeMCU, digunakanlah Modul Relay dua saluran. Modul ini berfungsi sebagai sakelar yang dioperasikan secara elektronik, memungkinkan sinyal arus rendah dari NodeMCU untuk mengaktifkan sirkuit berdaya tinggi yang terisolasi. Selain itu, Buzzer Aktif (TMB12A03) (Yani et al., 2021) terintegrasi sebagai aktuator output audio yang sederhana dan efektif, diaktifkan oleh NodeMCU melalui relay atau langsung, untuk memberikan notifikasi, alarm, atau indikator status kepada pengguna.



Gambar 5. Hasil notifikasi suhu lembab dan suhu tinggi pada aplikasi Telegram

Salah satu fitur kunci dari sistem miniatur berbasis NodeMCU ESP8266 adalah kemampuan untuk melakukan pemantauan dan notifikasi jarak jauh melalui platform seperti Telegram. Dengan mengintegrasikan sistem dengan bot Telegram (IT154C05) data yang dikumpulkan oleh mikrokontroler (misalnya, pembacaan sensor suhu) dapat secara otomatis dikirim ke pengguna dalam waktu nyata. Notifikasi yang muncul suhu lembab di bawah 30°C atau Suhu tinggi di atas 30°C memastikan bahwa pengguna selalu mendapat informasi terbaru mengenai kondisi lingkungan yang dipantau, memungkinkan respons cepat meskipun tidak berada di lokasi fisik alat. Analisis Efektivitas dan Efisiensi untuk UMKM Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa sistem yang dikembangkan menawarkan solusi perlindungan aset digital yang sangat efektif secara biaya (cost-effective). Dengan menggunakan komponen-komponen yang murah dan mudah didapat di pasaran, UMKM dapat memiliki sistem keamanan ruang server yang kinerjanya setara dengan perangkat komersial mahal. Penelitian ini juga menyimpulkan bahwa kemudahan instalasi dan pemeliharaan alat ini memungkinkan UMKM dengan staf teknis terbatas tetap dapat mengoperasikannya secara mandiri. Dengan demikian, hasil akhir penelitian ini bukan sekadar alat pendeteksi suhu, melainkan sebuah sistem mitigasi risiko yang mampu mencegah kerugian finansial akibat kerusakan server dan terhentinya layanan bisnis.

KESIMPULAN

Sistem Deteksi Dini Suhu Berlebih pada Ruang Server Berbasis IoT ini berhasil diimplementasikan sebagai solusi otomatisasi pemantauan suhu dan kelembapan secara real-time. Melalui penggunaan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dan sensor DHT11, sistem mampu mengolah data lingkungan dan memberikan respons otomatis berupa pengaktifan buzzer serta kipas pendingin melalui modul relay jika suhu melebihi ambang batas 30°C. Pemanfaatan platform Telegram terbukti efektif dalam memberikan aksesibilitas jarak jauh bagi pengguna untuk memantau kondisi ruang server dari mana saja melalui koneksi internet. Secara keseluruhan, alat ini menawarkan solusi yang efisien, hemat energi, dan ekonomis, sehingga sangat bermanfaat bagi institusi kecil atau menengah dalam meningkatkan keamanan pengelolaan aset teknologi mereka. Untuk pengembangan sistem yang lebih optimal di masa depan, terdapat beberapa aspek yang perlu ditingkatkan. Penggunaan sensor DHT11 dapat ditingkatkan dengan menggantinya ke sensor yang lebih canggih seperti DHT22 atau BME280 untuk mendapatkan akurasi dan kecepatan pembacaan yang lebih tinggi. Selain itu, jangkauan pemantauan sebaiknya diperluas dengan menambah titik pembacaan suhu agar data yang diperoleh dapat mewakili seluruh area jika ruang server berukuran besar. Penanganan terhadap stabilitas koneksi internet juga menjadi catatan penting agar notifikasi ke Telegram tidak mengalami penundaan saat

jaringan tidak stabil. Terakhir, perancangan sirkuit harus tetap memperhatikan kompatibilitas tegangan 3.3V pada NodeMCU untuk mencegah kerusakan komponen selama operasional jangka panjang.

REFERENCES

- [1] ASHRAE. Thermal Guidelines for Data Processing Environments. 5th ed. Atlanta: ASHRAE; 2021. Available from: ASHRAE Thermal Guidelines for Data Processing Environments.
- [2] Reddy VD, Setz B, Rao GSVR, Gangadharan GR, Aiello M. Metrics for sustainable data centers. *IEEE Trans Sustain Comput.* 2017;2:290-303. doi:10.1109/TSUSC.2017.2734141.
- [3] Morselli T, et al. Thermal awareness to enhance data center energy efficiency. *Cleaner Eng Technol.* 2022;6:100409. doi:10.1016/j.clet.2022.100409.
- [4] Al-Fuqaha A, Guizani M, Mohammadi M, Aledhari M, Ayyash M. Internet of Things: a survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Commun Surv Tutor.* 2015;17(4):2347-2376. doi:10.1109/COMST.2015.2444095.
- [5] Awaludin M, Rangan AY, Yusnita A. Internet of Things (IoT) based temperature and humidity monitoring system in the Chemical Laboratory of the Samarinda Industry Standardization and Research Center. *TEPIAN.* 2021;2(3):85-93. doi:10.51967/tepiian.v2i3.344.
- [6] Khan AM, et al. Internet of Things-based smart farming monitoring system for bolting reduction in onion farms. *Scientific Programming.* 2021;2021:7101983. doi:10.1155/2021/7101983.
- [7] Ridla MA, Rahman MF. Perancangan prototype monitoring suhu berbasis Internet of Things (IoT). *JUSIFOR: Jurnal Sistem Informasi dan Informatika.* 2024;3(1):72-79. doi:10.33379/jusifor.v3i1.4367.
- [8] Sholid RG, Yanto H, Alhaq H, Wijanarko SD. Rancang bangun sistem digital pemantau suhu dan kelembaban ruang server berbasis IoT. *Jurnal Sains Informatika Terapan.* 2025;4(2):314-319. doi:10.62357/jsit.v4i2.729.
- [9] Alavi A, et al. Novel Internet of Things platform for in-building power quality submetering. *Appl Sci.* 2017;8(8):1320. doi:10.3390/app8081320.
- [10] Sguera S, et al. Low-cost thermohygrometers to assess thermal comfort in the built environment: a laboratory evaluation of their measurement performance. *Buildings.* 2022;12(5):579. doi:10.3390/buildings12050579.
- [11] Atzori L, Iera A, Morabito G. The Internet of Things: A survey. *Comput Netw.* 2010;54(15):2787-2805.
- [12] Gubbi J, Buyya R, Marusic S, Palaniswami M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Gener Comput Syst.* 2013;29(7):1645-1660.
- [13] Al-Fuqaha A, Guizani M, Mohammadi M, Aledhari M, Ayyash M. Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Commun Surv Tutor.* 2015;17(4):2347-2376.
- [14] ASHRAE. Thermal Guidelines for Data Processing Environments. 4th ed. Atlanta (GA): ASHRAE; 2015.
- [15] Espressif Systems. ESP8266EX Datasheet [Internet]. 2020 [cited 2025 Jan 1]. Available from: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266ex_datasheet_en.pdf
- [16] Aosong Electronics Co., Ltd. DHT11 Temperature and Humidity Sensor [Internet]. 2010 [cited 2025 Jan 1]. Available from: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT11.pdf>

- [17] Telegram Messenger LLP. Telegram Bot API [Internet]. [cited 2025 Jan 1]. Available from: <https://core.telegram.org/bots/api>