

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Ruang Server

Ruangan server merupakan lingkungan dengan kepadatan panas tinggi akibat pengoperasian perangkat komputasi secara terus-menerus. Beban panas yang dihasilkan oleh prosesor, unit catu daya, dan perangkat jaringan dapat meningkatkan temperatur lingkungan secara signifikan jika tidak dikendalikan dengan sistem pendinginan yang tepat (Schmidt, R. R., & Cruz, E. E., 2002).

Berdasarkan pedoman ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) dalam "*Thermal Guidelines for Data Processing Environments*", suhu operasional yang direkomendasikan untuk perangkat IT kelas A1 hingga A4 berada pada rentang 18°C–27°C (ASHRAE, 2021). Rentang ini ditetapkan untuk menjaga keseimbangan antara keandalan komponen elektronik dan efisiensi energi sistem pendingin. Peningkatan suhu di atas batas optimal terbukti meningkatkan probabilitas kegagalan komponen secara eksponensial akibat stres termal (Viswanathan, V., dkk, 2014).

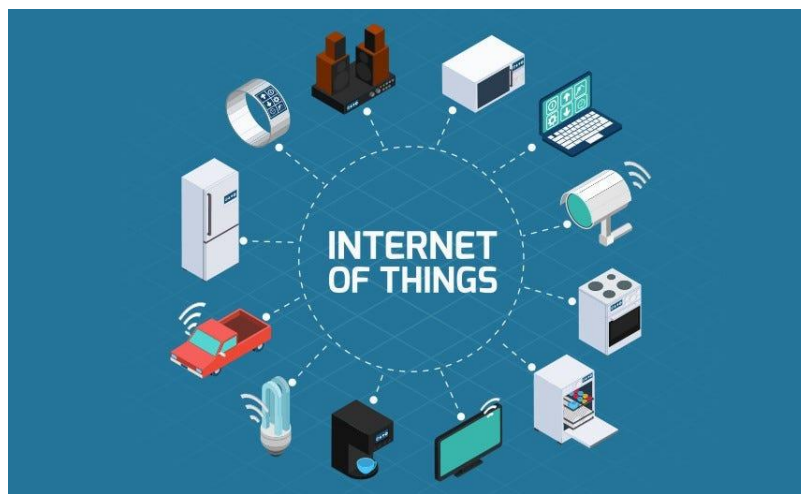


Gambar 2.1 Ruang Server

Sumber: <https://infracircuit.com/service/data-center-infrastructure-services>

2.1.2 Sistem Monitoring Berbasis Internet of Thing (IoT)

Internet of Things (IoT) didefinisikan sebagai jaringan objek fisik yang terhubung ke internet untuk melakukan pengumpulan dan pertukaran data. Menurut L. Da Xu dkk. (2014), arsitektur IoT umumnya terdiri dari tiga lapisan utama: *perception layer* (sensor), *network layer* (media transmisi), dan *application layer* (antarmuka pengguna) (Xu, L. D., He, W., & Li, S., 2014). Implementasi IoT pada monitoring suhu memungkinkan pengawasan kondisi lingkungan secara *real-time* dan otomatis, yang terbukti lebih efisien dibandingkan metode pemantauan manual dalam mendeteksi anomali suhu (Gubbi, J., dkk., 2013).



Gambar 2.2 Internet of Thing (IoT)

Sumber: <https://docif.telkomuniversity.ac.id/apa-itu-iot/>

2.1.3 Sensor DHT22

Sensor DHT22 (AM2302) adalah modul sensor digital yang berfungsi mengukur suhu dan kelembaban relatif. Berdasarkan spesifikasi teknis dari Aosong Electronics (2015), sensor ini memiliki rentang pengukuran suhu -40°C hingga 80°C dengan akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (Aosong Electronics, 2015). Sensor ini menggunakan elemen termistor NTC untuk suhu dan kapasitor polimer untuk kelembaban. Dalam aplikasi ruangan tertutup, DHT22 dinilai memiliki stabilitas dan akurasi yang memadai untuk sistem kontrol berbasis ambang batas (*threshold*) (Liu, Y., dkk, 2016).



Gambar 2.3 Sensor DHT22

Sumber: <https://tokoteknologi.co.id/modul-dht22-digital-temperature-and-humidity-sensor-am2302>

Adapun spesifikasi dari sensor DHT22 dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Spesifikasi Sensor DHT22

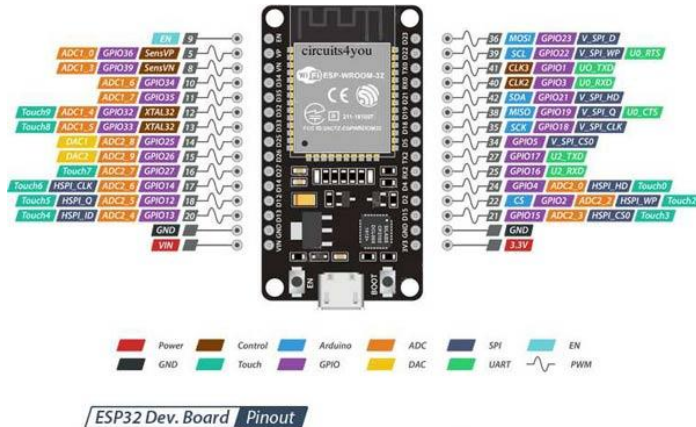
No	Parameter	Spesifikasi
1	Tegangan Kerja	3.3V hingga 5.5V DC
2	Rentagn Suhu	-40°C hingga +80°C
3	Akurasi Suhu	±0.5°C
4	Resolusi Suhu	0.1°C
5	Rentang Kelembaban	0% hingga 100% RH
6	Akurasi Kelembaban	± 2% hingga ± 5% RH
7	Resolusi Kelembaban	0.1% RH
8	Sinyal Output	Digital (<i>Singgle-wire two-way / one-wire</i>)
9	Sampling Rate	Maksimal 0.5 Hz (pembaruan data setiap 2 detik)

Pada Tabel 2.1 menunjukkan bahwa sensor DHT22 memiliki rentang pengukuran yang luas, tingkat presisi/akurasi yang tinggi, serta resolusi yang baik, sehingga komponen ini cocok untuk alat yang digunakan untuk mengukur suhu.

2.1.4 Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah sistem *System on Chip* (SoC) berbasis prosesor dual-core yang memiliki fitur Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi. ESP32 menjadi pilihan utama

dalam proyek IoT karena memiliki performa komputasi tinggi namun dengan konsumsi daya yang rendah (Maier, A., dkk., 2017). Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan ESP32 dalam transmisi data sensor suhu melalui protokol HTTP atau MQTT memiliki tingkat keberhasilan pengiriman (PDR) yang sangat tinggi di lingkungan jaringan lokal (Kodali, R. K., & Sahu, A., 2016).



Gambar 2.4 Mikrokontroler ESP32

Sumber: <https://www.ardutech.com/mengenal-esp32-development-kit-untuk-iot-internet-of-things/>

2.1.5 Sistem Kontrol Suhu Berbasis Ambang Batas (Threshold Control)

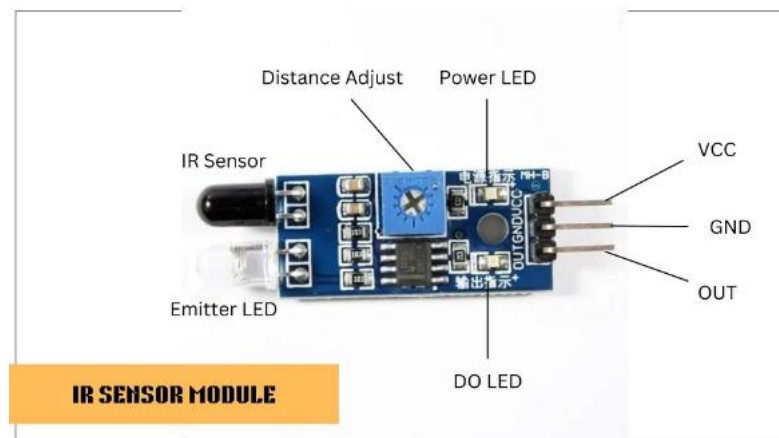
Sistem kontrol dalam penelitian ini menggunakan prinsip *closed-loop* dengan metode *threshold control*. Pengendalian dilakukan dengan membandingkan nilai aktual dari sensor terhadap batas atas (untuk menyalakan pendingin) dan batas bawah (untuk mematikan/menormalkan pendingin). Pendekatan ini efektif untuk sistem dengan dinamika lambat seperti pendinginan ruangan karena implementasinya yang sederhana namun responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan (Dorf, R. C., & Bishop, R. H., 2016).

2.1.6 Sensor Infrared (IR)

Sensor IR adalah perangkat elektronik yang mendeteksi radiasi inframerah, salah satu bentuk cahaya yang dapat dilihat oleh mata manusia. Sensor IR banyak digunakan dalam aplikasi penginderaan jarak, gerakan, dan kendali jarak jauh. Sensor ini mengubah sinyal cahaya inframerah menjadi sinyal listrik untuk diproses oleh sistem. Nama lengkap sensor IR adalah Sensor Inframerah, yang pada dasarnya terdiri dari LED IR (Light Emitting Diode) yang terhubung dengan

penerima IR untuk mengukur cahaya inframerah yang dipantulkan atau dipancarkan (Harrison, S., 2024).

Teknologi *Infrared* (IR) memanfaatkan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi pembawa (biasanya 38 kHz) untuk mengirimkan instruksi ke perangkat elektronik. Dalam sistem otomatisasi, teknik *cloning* kode remote memungkinkan mikrokontroler untuk mensimulasikan perintah kendali AC tanpa melakukan modifikasi fisik pada unit AC tersebut (Shirriff, K., 2009).



Gambar 2.5 Sensor Infrared (IR)

Sumber: https://www.pcbasic.com/id/blog/ir_sensors.html

2.1.7 Telegram Bot

Telegram menyediakan platform Bot API yang memungkinkan integrasi perangkat keras dengan layanan pesan instan melalui protokol HTTPS. Penggunaan Telegram Bot sebagai sistem peringatan dini (*early warning system*) sangat efektif karena memiliki latensi yang rendah dan mendukung pengiriman data multimedia atau teks secara otomatis saat suhu ruangan melewati batas aman (B. S. Prabowo, dkk., 2021).



Gambar 2.6 Telegram

Sumber: [https://id.wikipedia.org/wiki/Telegram_\(perangkat_lunak\)](https://id.wikipedia.org/wiki/Telegram_(perangkat_lunak))

2.1.8 Protokol HTTP POST dan Struktur Data JSON

Komunikasi data antara perangkat *Internet of Things* (IoT) berbasis mikrokontroler dengan *web server* memerlukan protokol aplikasi yang standar agar data dapat ditransmisikan secara andal. Pada sistem ini, komunikasi memanfaatkan protokol HTTP (Hypertext Transfer Protocol) dengan metode POST.

Menurut Field dkk. (1999), metode HTTP POST digunakan untuk mengirimkan entitas data ke *resource* tertentu pada server yang mengakibatkan perubahan status atau penambahan data pada basis data server. Keunggulan metode POST dibandingkan GET adalah data dikirimkan melalui *body request*, sehingga tidak terlihat pada URL, ukuran data yang dikirim bisa lebih besar, dan jauh lebih aman untuk transmisi data sensor secara kontinu.

Untuk mengefisienkan ukuran *bandwidth* jaringan saat ESP32 melakukan *request* ke server PHP, digunakan format pertukaran data bernama JSON (JavaScript Object Notation). JSON adalah format pertukaran data teks yang ringan, independen terhadap bahasa pemrograman, serta mudah dibaca oleh manusia dan diterjemahkan oleh komputer. Struktur data JSON bertumpu pada dua elemen utama, yaitu pasangan *key* (kunci) dan *value* (nilai). Contoh pemformatan data JSON yang dikirimkan oleh ESP32 ke server dapat dilihat pada contoh berikut:

```
{
  "device_id": "ESP32-ServerRoom-01",
  "suhu": 27.20,
  "kelembaban": 66.00
}
```

Melalui pustaka (*library*) khusus seperti *ArduinoJson* pada ESP32, data sensor biner diubah ke format teks JSON ini, kemudian skrip PHP di sisi server akan melakukan fungsi *decode* untuk memisahkan data suhu dan kelembaban sebelum disimpan ke database MySQL.

2.1.9 Karakteristik Sinyal Wi-Fi Berbasis RSSI (*Received Signal Strength Indicator*)

Karena mikrokontroler ESP32 menggunakan media transmisi nirkabel (*wireless*) gelombang radio 2.4 GHz untuk terhubung ke jaringan lokal Ruang

Server BSTI, kualitas koneksi sangat dipengaruhi oleh posisi penempatan alat dan hambatan fisik di sekitarnya. Parameter utama yang digunakan untuk mengukur kekuatan sinyal Wi-Fi yang diterima oleh ESP32 adalah RSSI (*Received Signal Strength Indicator*).

RSSI dihitung dalam satuan dBm (*decibel-milliwatts*) dengan nilai berskala negatif. Semakin mendekati angka 0 nilai dBm-nya, maka sinyal Wi-Fi yang diterima oleh perangkat IoT akan semakin kuat dan stabil. Karakteristik dan kualitas performa jaringan nirkabel berdasarkan parameter RSSI dapat dilihat pada Tabel 2.2 Klasifikasi Kualitas Sinyal Wi-Fi Berdasarkan Nilai RSSI.

Tabel 2.2 Kalsifikasi Kualitas Sinyal Wi-Fi Berdasarkan Nilai RSSI

Rentang Nilai RSSI (dBm)	Kategori Kekuatan Sinyal	Keterangan Performa Teknis
-30 dBm s.d -50 dBm	Sangat Bagus (<i>Excellent</i>)	Sinyal sangat kuat, transfer data maksimal, tidak ada risiko <i>packet loss</i> .
-51 dBm s.d -67 dBm	Bagus (<i>Good</i>)	Sinyal stabil dan kuat. Sangat mencukupi untuk aplikasi IoT <i>real-time</i> .
-68 dBm s.d -70 dBm	Cukup (<i>Poor</i>)	Sinyal minimal untuk koneksi yang andal. Mulai rentan terhadap gangguan fluktuasi.
-71 dBm s.d -80 dBm	Lemah (<i>Weak</i>)	Koneksi tidak stabil, sering terjadi putus-sambung (<i>intermittent</i>).
< -90 dBm	Sangat Lemah (<i>No Signal</i>)	Kehilangan koneksi total (<i>disconnection</i>), data tidak dapat terkirim.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai sistem monitoring suhu dan pengendalian perangkat pendingin berbasis Internet of Things (IoT) telah banyak dilakukan di Indonesia, khususnya dalam konteks ruangan server dan ruang laboratorium komputer. Beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan topik ini diuraikan sebagai berikut.

Pengembangan sistem monitoring suhu dan kelembaban ruangan server

berbasis IoT yang mampu menampilkan data secara real-time melalui web server. Sistem tersebut berhasil meningkatkan efektivitas pemantauan suhu, namun belum terintegrasi dengan sistem kontrol otomatis terhadap perangkat pendingin (R. Saputra, A. Nugroho, dan B. Prasetyo, 2020).

Perancangan sistem monitoring suhu berbasis ESP32 yang memanfaatkan koneksi Wi-Fi untuk pengiriman data ke server lokal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ESP32 memiliki performa stabil dalam transmisi data, namun penelitian tersebut belum mengimplementasikan sistem kendali terhadap Air Conditioner (AC) (H. Setiawan, E. Riyanto, dan A. S. Putra, 2021).

Pengembangan sistem kontrol AC berbasis Infrared (IR) menggunakan mikrokontroler. Sistem tersebut mampu meniru sinyal remote control dan mengatur suhu AC sesuai perintah pengguna. Akan tetapi, sistem yang dikembangkan masih bersifat manual dan belum terintegrasi dengan sistem monitoring suhu otomatis (D. Irawan dan M. F. Wicaksono, 2021).

Implementasi IoT untuk pengendalian suhu ruangan laboratorium komputer guna meningkatkan efisiensi energi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengendalian suhu yang terstruktur dapat menurunkan konsumsi daya listrik secara signifikan dibandingkan pengaturan manual (A. Pratama, L. Hakim, dan R. Kurniawan, 2020).

Analisis pengaruh pengaturan suhu terhadap konsumsi energi pada ruangan server. Studi tersebut menegaskan pentingnya menjaga suhu sesuai standar rekomendasi internasional seperti yang ditetapkan oleh ASHRAE, yaitu pada rentang 18°C–27°C, untuk menjaga keseimbangan antara keandalan perangkat dan efisiensi energi (T. Wijaya dan B. Santoso, 2019).

Pengembangan sistem monitoring suhu berbasis web dengan notifikasi peringatan dini (early warning system). Sistem tersebut efektif dalam memberikan informasi ketika suhu melebihi batas tertentu, namun belum memiliki fitur kontrol otomatis terhadap AC (M. Hidayat, S. Anwar, dan F. Rahman, 2021).

Pengimplementasian sistem kendali suhu berbasis IoT untuk ruang arsip menggunakan sensor suhu dan modul relay. Walaupun sistem mampu mengontrol perangkat pendingin, metode yang digunakan masih menggunakan saklar listrik langsung dan bukan melalui transmisi Infrared (IR) (M. Ramadhan dan A. Putra,

2021).

Perancangan sistem pengawasan suhu ruangan server menggunakan platform IoT berbasis cloud. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa monitoring jarak jauh meningkatkan kecepatan respons terhadap kenaikan suhu abnormal (P. Sari, D. Utami, dan R. Fadli, 2021).

Mengkaji efisiensi energi pada sistem pendingin ruangan berbasis kontrol otomatis. Hasilnya menunjukkan bahwa pengaturan suhu yang optimal mampu mengurangi konsumsi energi hingga beberapa persen dibandingkan metode konvensional (Y. Nugroho dan A. Firmansyah, 2020).

Pembahasan integrasi sistem monitoring dan kontrol suhu berbasis mikrokontroler dalam satu platform terpadu. Namun, penelitian tersebut belum secara spesifik diterapkan pada ruangan server dengan acuan standar suhu internasional (N. Lestari, R. Maulana, dan E. Saputra, 2021).

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No	Nama	Judul	Metode	Hasil
1.	R. Saputra, A. Nugroho, dan B. Prasetyo, 2020	Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Ruangan Server Berbasis Internet of Things	Metode <i>Research and Development (R&D)</i> dengan tahapan: analisis kebutuhan, perancangan hardware (sensor suhu & mikrokontroler), perancangan software, kalibrasi sensor, dan uji akurasi komparatif dengan thermo-hygrometer standar	Sistem mampu membaca suhu dengan rata-rata error $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ dibandingkan alat ukur referensi dan mengirim data ke server setiap 5 detik secara stabil
2.	H. Setiawan, E. Riyanto, dan A. S. Putra, 2021	Sistem Monitoring dan Pengendalian Suhu Ruangan Berbasis ESP32 Menggunakan Web Server	Metode prototyping model: desain sistem, pembuatan prototype berbasis ESP32, integrasi Wi-Fi, dan uji Quality of Service (QoS) jaringan (delay & packet loss)	Tingkat keberhasilan pengiriman data mencapai 98% dengan delay rata-rata < 2 detik pada jaringan Wi-Fi lokal
3.	D. Irawan dan M. F. Wicaksono, 2021	Implementasi Kontrol Air Conditioner Menggunakan Infrared Berbasis Mikrokontroler	Metode eksperimen fungsional: perekaman sinyal Infrared remote AC, decoding sinyal, implementasi ulang menggunakan IR transmitter, serta uji jarak dan keberhasilan perintah	Modul IR mampu mereplikasi 100% fungsi dasar remote (ON/OFF, mode, suhu) dengan jarak efektif 5–8 meter
4.	A. Pratama, L. Hakim, dan R. Kurniawan, 2020	Implementasi IoT untuk Efisiensi Energi pada Ruang Laboratorium Komputer	Metode eksperimen komparatif before-after: pengukuran konsumsi energi sebelum dan sesudah implementasi sistem otomatis berbasis sensor suhu	Konsumsi daya listrik menurun sebesar $\pm 12\text{--}18\%$ setelah penerapan sistem kontrol otomatis berbasis suhu

No	Nama	Judul	Metode	Hasil
5.	T. Wijaya dan B. Santoso, 2019	Analisis Konsumsi Energi pada Sistem Pendingin Ruang Server	Metode analisis kuantitatif deskriptif: pengukuran arus dan daya listrik menggunakan power meter pada berbagai variasi setpoint suhu	Pengaturan suhu pada 24°C menghasilkan konsumsi daya lebih rendah $\pm 10\%$ dibandingkan setpoint 18°C
6.	M. Hidayat, S. Anwar, dan F. Rahman, 2021	Sistem Monitoring Suhu Berbasis Web dengan Notifikasi Dini	Metode rancang bangun sistem monitoring berbasis web dengan tahapan desain database, integrasi sensor, dan uji respons notifikasi	Sistem mengirim notifikasi ketika suhu $> 27^{\circ}\text{C}$ dengan waktu respons rata-rata 3–5 detik
7.	M. Ramadhan dan A. Putra, 2021	Rancang Bangun Sistem Kendali Suhu Berbasis IoT pada Ruang Arsip	Metode implementasi sistem kendali berbasis ambang batas (threshold control) dengan pengujian logika ON/OFF menggunakan relay	Relay mampu mengaktifkan dan mematikan AC secara otomatis berdasarkan ambang suhu dengan keberhasilan 95%
8.	P. Sari, D. Utami, dan R. Fadli, 2021	Monitoring Suhu Ruang Server Berbasis Cloud Computing	Metode pengembangan sistem berbasis cloud computing dengan uji performa uptime, latency, dan stabilitas server selama 30 hari	Data dapat diakses melalui dashboard web dengan uptime sistem 97% selama 30 hari pengujian

No	Nama	Judul	Metode	Hasil
9.	Y. Nugroho dan A. Firmansyah, 2020	Optimasi Konsumsi Energi pada Sistem Pendingin Ruangan Menggunakan Kontrol Otomatis	Metode eksperimen kontrol adaptif: penerapan logika kontrol berbasis variasi suhu lingkungan dan evaluasi konsumsi energi	Penggunaan kontrol suhu adaptif menurunkan konsumsi energi hingga 15% pada jam beban rendah
10.	N. Lestari, R. Maulana, dan E. Saputra, 2021	Integrasi Sistem Monitoring dan Kontrol Suhu Berbasis Mikrokontroler	Metode integrasi sistem monitoring dan kontrol dengan pengujian stabilitas suhu 24 jam dan analisis deviasi standar	Sistem menjaga suhu ruangan pada rentang 20–26°C dengan deviasi $\pm 1^{\circ}\text{C}$ selama pengujian 24 jam

Berdasarkan telaah terhadap penelitian-penelitian terdahulu yang telah dipaparkan pada Tabel 2.3, dapat diidentifikasi bahwa sebagian besar penelitian menggunakan pendekatan rancang bangun (*engineering design*) yang dikombinasikan dengan metode eksperimen atau pengujian fungsional sistem. Pendekatan tersebut umumnya meliputi tahapan analisis kebutuhan, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi sistem, serta pengujian kinerja berdasarkan parameter tertentu seperti akurasi sensor, delay transmisi data, konsumsi daya, dan stabilitas sistem.

Meskipun demikian, penelitian-penelitian terdahulu cenderung berfokus secara parsial pada salah satu aspek, yaitu:

1. Monitoring suhu berbasis jaringan tanpa integrasi sistem kontrol pendingin ruangan.
2. Implementasi kontrol Air Conditioner (AC) berbasis relay atau Infrared (IR) tanpa sistem monitoring suhu yang terintegrasi secara real-time.
3. Efisiensi konsumsi energi tanpa penerapan sistem kontrol otomatis berbasis ambang suhu.

Selain itu, sebagian besar penelitian belum secara eksplisit mengacu pada standar suhu operasional ruangan server sebesar 18°C–27°C sebagaimana direkomendasikan oleh ASHRAE sebagai parameter evaluasi kinerja sistem. Padahal, standar tersebut merupakan acuan penting dalam menjamin keandalan perangkat server sekaligus menjaga efisiensi energi.

Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa integrasi sistem monitoring suhu real-time berbasis ESP32 dengan kontrol otomatis AC menggunakan modul IR dalam satu sistem terpadu yang diterapkan pada ruangan server BSTI dengan mengacu pada standar suhu 18°C–27°C.