

Monitoring Suhu Ruang UPS Berbasis IoT untuk Keandalan Airfield Lighting Bandara Ngurah Rai

Purnomo¹ Yenni Arnas² Yon Afonda³

Program Studi Diploma IV Teknik Listrik Bandara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug,
Tangerang, Banten, Indonesia^{1,2,3}

Email: lpuuunggnomo@gmail.com¹ yenni.arnas@ppicurug.ac.id² afondayon@gmail.com³

Abstrak

Suhu ruang *Uninterruptible Power Supply* (UPS) *Main Power House* (MPH) 2 Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai yang tidak terkendali berpotensi memicu *thermal stress*, mempercepat degradasi baterai VRLA, dan menurunkan keandalan suplai daya cadangan bagi *Airfield Lighting* (AFL) pada *Precision Approach Runway Category I*. Data *logbook* menunjukkan suhu ruang UPS mencapai 26–28 °C akibat gangguan pendingin yang terlambat terdeteksi karena pengawasan masih manual. Penelitian ini bertujuan merancang sistem monitoring suhu ruang UPS berbasis *Internet of Things* (IoT) yang bekerja *real-time* dan memberikan peringatan dini, serta mengetahui dampaknya terhadap kinerja peralatan. Metode yang digunakan adalah rancang bangun yang diawali *Root Cause Analysis* (RCA) 5 *Whys*, dilanjutkan perancangan perangkat keras, perangkat lunak, dan pengujian; metode ini dipilih karena akar masalah yang ditemukan menuntut solusi berupa alat. Sistem menggunakan sensor XY-MD02 (chip SHT20) dengan RS-485 Modbus RTU, *gateway* Modbus TCP/IP USR-TCP232-306, *router*, dan PC HMI berbasis Node-RED yang dilengkapi *gauge*, grafik tren, *data logging* .csv, alarm suara, dan notifikasi Telegram. Hasil pengujian menunjukkan akurasi pembacaan suhu rata-rata 99,5% terhadap termometer digital referensi dengan selisih maksimum 0,2 °C. Notifikasi Telegram terkirim pada seluruh skenario di atas ambang 25 °C (100%) dengan waktu respons 1–2 detik. Sistem ini menghilangkan jeda pengawasan manual dan mempercepat respons terhadap anomali suhu. Pengembangan selanjutnya disarankan menambahkan pemantauan kelembapan, pengaturan jeda notifikasi, dan analisis prediktif.

Kata Kunci: *Airfield Lighting*, *Internet of Things*, Monitoring Suhu, Node-RED, *Uninterruptible Power Supply*



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai merupakan salah satu bandara tersibuk di Indonesia, dengan sekitar 23,9 juta penumpang dan 142.169 pergerakan pesawat pada tahun 2024 serta lebih dari 400 pergerakan pesawat per hari. Keselamatan operasi, terutama pada malam hari dan visibilitas terbatas, sangat bergantung pada *Airfield Lighting* (AFL) yang memenuhi persyaratan *Precision Approach Runway Category I*. ICAO Annex 14 mensyaratkan sumber daya cadangan yang mampu memulihkan pencahayaan dalam waktu tidak lebih dari 15 detik setelah kegagalan catu daya utama (International Civil Aviation Organization, 2018), sehingga *Uninterruptible Power Supply* (UPS) berperan penting menjaga kontinuitas suplai AFL. UPS dan baterainya sensitif terhadap suhu lingkungan. IEC 62040 dan IEEE Std 1188 merekomendasikan suhu operasional ruang UPS dan baterai VRLA pada kisaran 20–25 °C, dan kenaikan di atas batas tersebut mempercepat degradasi baterai (IEC, 2018; IEEE, 2005). Di lapangan, pengawasan suhu ruang UPS masih dilakukan secara manual dan berkala. *Logbook* tahun 2025 mencatat suhu ruang UPS mencapai 26–28 °C di lima lokasi, termasuk 28 °C di ruang UPS MPH 2 pada 15 Maret 2025 akibat salah satu AC mati. Karena teknisi tidak berjaga di dalam *shelter* dan tidak menerima peringatan otomatis, kenaikan suhu terlambat diketahui. Sistem monitoring berbasis IoT memungkinkan sensor, pengolah data, dan antarmuka

pengguna terhubung sehingga kondisi peralatan dapat dipantau dari jarak jauh secara *real-time* (Gubbi et al., 2013). Fadillah dan Permata (2024) serta Saputra et al. (2019) membangun monitoring suhu ruang *data center* dan server menggunakan NodeMCU ESP8266 dan DHT11. Syafii et al. (2024) menambahkan fungsi pengendalian pendingin dan notifikasi, Karlina dan Putra (2024) menggunakan Telegram sebagai media peringatan, dan Ilmi et al. (2024) menerapkan ESP32 dengan DHT22 di ruang server rumah sakit. Komunikasi Modbus RTU melalui RS-485 dan Modbus TCP/IP juga telah terbukti andal untuk integrasi perangkat industri (Mulyadi et al., 2021; Prastiwi et al., 2023). Penelitian-penelitian tersebut umumnya menggunakan mikrokontroler dan sensor kelas hobi pada ruang server atau *data center*, dan belum diterapkan pada ruang UPS yang menopang fasilitas keselamatan penerbangan. Kebaruan penelitian ini adalah penerapan monitoring suhu berbasis IoT tingkat industri, yaitu sensor RS-485 Modbus RTU, *gateway* Modbus TCP/IP, dan Node-RED sebagai HMI dengan notifikasi Telegram, pada ruang UPS MPH 2 pendukung AFL, yang rancangannya diturunkan dari analisis akar masalah. Penelitian ini bertujuan: (1) merancang sistem monitoring suhu ruang UPS berbasis IoT yang efektif; dan (2) mengetahui pengaruh dan dampak sistem tersebut terhadap kinerja peralatan.

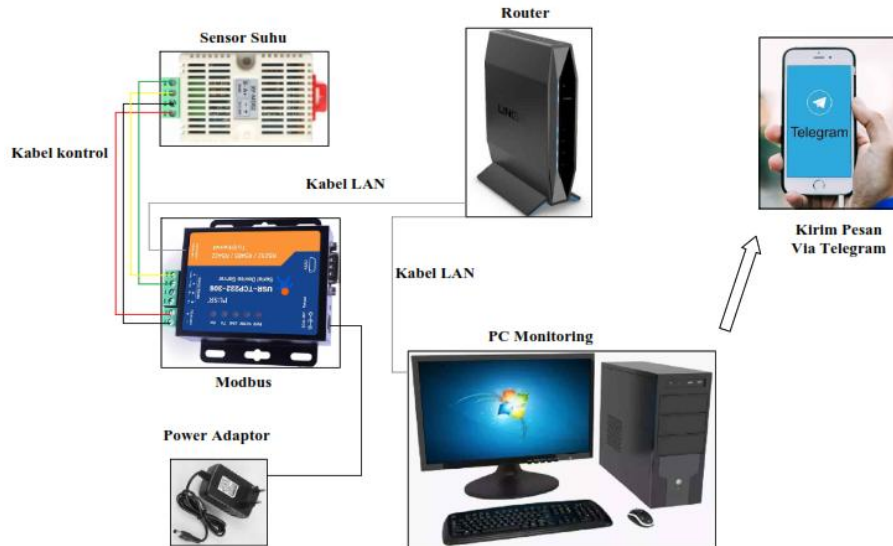
Penelitian Terdahulu yang Relevan

No	Penulis/ Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Kontribusi dan relevansi
1	Fadillah & Permata (2024)	Monitoring suhu dan kelembaban di ruang data center Diskominfo Provinsi Banten berbasis IoT	Merancang monitoring suhu dan kelembaban data center	NodeMCU ESP8266, DHT11, LCD I2C	Rata-rata suhu 23 °C dan kelembaban 65% RH terpantau dengan baik	Belum ada notifikasi; penelitian ini menambah alarm dan Telegram
2	Saputra et al. (2019)	Sistem monitoring suhu ruang server berbasis Internet of Things	Memantau suhu ruang server secara real-time	NodeMCU ESP8266, DHT11, Blynk	Informasi suhu dan kelembaban tampil real-time dan pengawasan lebih efektif	Belum ada notifikasi otomatis; penelitian ini menambah peringatan dini
3	Syafii et al. (2024)	Penerapan monitoring dan controlling suhu ruang server berbasis IoT	Memantau dan mengendalikan pendingin ruang server	NodeMCU ESP8266, DHT22, dashboard	Pendingin dikendalikan otomatis berdasarkan ambang suhu disertai notifikasi	Membuka peluang integrasi Node-RED yang diterapkan pada penelitian ini
4	Karlina & Putra (2024)	Monitoring suhu ruang server berbasis IoT pada Universitas Bina Insani	Monitoring suhu jarak jauh dengan peringatan	DHT22, ESP8266, Blynk, Telegram	Suhu terpantau real-time dan peringatan terkirim saat melewati batas	Dasar penggunaan Telegram; penelitian ini memakai sensor industri RS-485
5	Ilmi et al. (2024)	Sistem monitoring suhu dan kelembaban pada ruang server berbasis IoT (Studi pada RS Roemani Muhammadiyah Semarang)	Memantau suhu dan kelembaban ruang server rumah sakit	ESP32 dan DHT22	Pengawasan suhu dan kelembaban berkelanjutan dan risiko gangguan server berkurang	Menyarankan Node-RED; penelitian ini menerapkannya pada ruang UPS bandara

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun (perancangan dan pembuatan alat) yang diawali analisis akar masalah. Metode ini dipilih karena permasalahan keterlambatan deteksi suhu memerlukan solusi berupa sistem yang dapat dibuat dan diuji secara langsung. Penelitian dilaksanakan di ruang UPS MPH 2 Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali pada Februari–Agustus 2026. Tahap pertama adalah *Root Cause Analysis* (RCA) dengan pendekatan 5 *Whys* terhadap kejadian suhu ruang UPS 26–28 °C pada *logbook* 2025. Tahap kedua adalah perancangan perangkat keras yang terdiri atas sensor suhu XY-MD02 (chip SHT20) dengan komunikasi RS-485 Modbus RTU, *gateway* Modbus TCP/IP USR-TCP232-306 dengan catu daya DC 12 V, *router* Linksys AC1200, dan PC HMI. Tahap ketiga adalah perancangan perangkat lunak Node-RED untuk membaca register suhu (FC3, *Read Holding Registers*, alamat 0001),

menampilkan *gauge* dan grafik tren, menyimpan data ke berkas .csv, membangkitkan alarm suara (*Google Speech*), serta mengirim notifikasi melalui Telegram Bot. Parameter komunikasi yang digunakan adalah 9600 bps, 8 data bit, *parity none*, 1 stop bit, dan *gateway* sebagai TCP Server pada port 502. Ambang batas ditetapkan 25 °C sesuai rekomendasi IEC 62040 dan IEEE Std 1188: suhu ≤ 25 °C ditampilkan sebagai *TEMPERATURE NORMAL*, sedangkan suhu > 25 °C memicu status *TEMPERATURE HIGH*, alarm suara, dan notifikasi Telegram. Saat suhu kembali normal, sistem mengirim notifikasi pemulihan. Rancangan sistem ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Rancang Bangun Monitoring Suhu Ruang UPS MPH 2

Tahap keempat adalah pengujian, meliputi pengujian komponen (catu daya, konektivitas *gateway*, pembacaan sensor dan alarm), validasi akurasi pembacaan suhu terhadap termometer digital sebagai alat ukur referensi pada kondisi dan waktu yang sama, serta validasi notifikasi Telegram dengan variasi suhu di bawah dan di atas ambang batas. Akurasi setiap sampel dihitung dengan persamaan (1), dengan T_s adalah suhu hasil monitoring dan T_r adalah suhu referensi.

$$\text{Akurasi} = [1 - |T_s - T_r| / T_r] \times 100\% \quad (1)$$

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

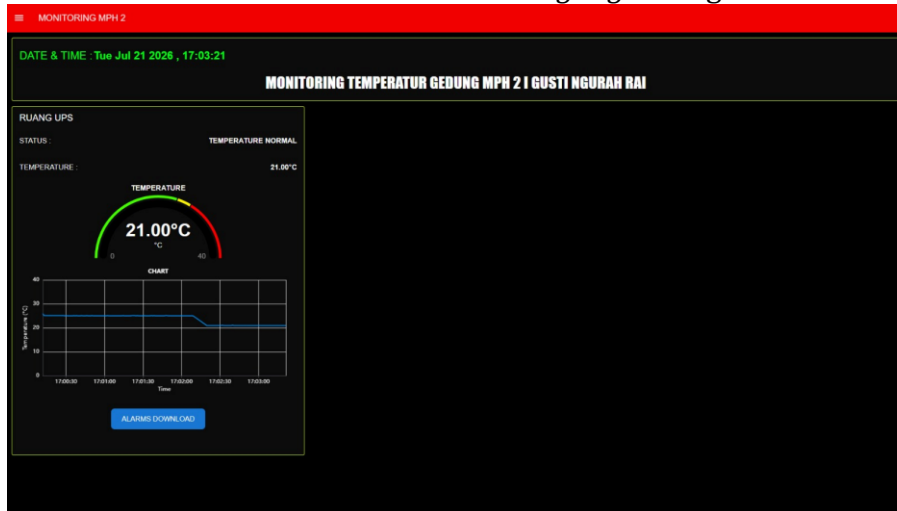
Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan di ruang UPS MPH 2 Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali. Hasil RCA 5 *Whys* dan solusi rekayasa yang diturunkan darinya disajikan pada Tabel 1. Akar masalah yang ditemukan adalah belum tersedianya sistem pemantauan suhu terintegrasi berbasis IoT yang mampu mentransmisikan, mencatat, dan memperingatkan kenaikan suhu secara otomatis.

Tabel 1. Pemetaan Rantai 5 Whys terhadap Solusi Rancang Bangun IoT

Tingkat	Identifikasi Masalah	Solusi Rancang Bangun	Komponen / Parameter
Why 1	Panas terakumulasi cepat saat pendingin gagal	Pemantauan suhu kontinu sebelum melewati 25 °C	Status HMI Node-RED (NORMAL ≤ 25 °C; HIGH > 25 °C)
Why 2	Teknisi tidak berjaga di shelter MPH 2	Telemetri jarak jauh dan notifikasi instan ke ponsel	Telegram Bot dan dashboard PC monitoring
Why 3	Pengawasan manual dengan jeda waktu tinggi	Pengawasan otomatis 24/7 dengan ambang batas	Logika Node-RED dengan setpoint > 25 °C
Why 4	Termometer lokal pasif tanpa transmisi dan pencatatan	Sensor digital industri dan pencatatan otomatis	XY-MD02 (SHT20) RS-485 Modbus RTU; data logger .csv
Why 5 (akar masalah)	Belum ada infrastruktur akuisisi dan transmisi data IoT	Perangkat akuisisi, gateway, dan jaringan	Gateway USB-TCP232-306, router Linksys AC1200, catu daya 12 V

Seluruh komponen berhasil dirakit dan berfungsi. Sensor terhubung ke *gateway* melalui empat kabel (VCC, GND, A, B), *gateway* dan PC monitoring terhubung ke *router* melalui kabel LAN, dan Node-RED berhasil membaca data suhu melalui alamat IP *gateway*. Tampilan *dashboard* pada kondisi normal ditunjukkan pada Gambar 2: pada suhu 21 °C sistem menampilkan status *TEMPERATURE NORMAL* beserta *gauge* dan grafik tren.

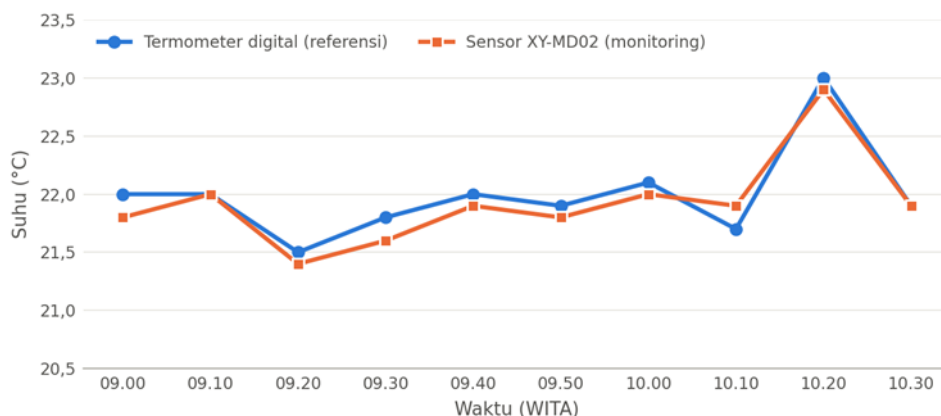


Gambar 2. Tampilan Dashboard Node-RED pada Kondisi Suhu Normal

Hasil validasi akurasi pembacaan suhu terhadap termometer digital disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 3. Selisih pembacaan berada pada rentang 0–0,2 °C dengan rata-rata selisih absolut 0,11 °C, dan akurasi rata-rata sebesar 99,5%.

Tabel 2. Perbandingan Pembacaan Suhu Termometer Referensi dan Sensor XY-MD02

No	Waktu (WITA)	Referensi (°C)	Monitoring (°C)	Selisih (°C)	Akurasi (%)
1	09.00	22,0	21,8	0,2	99,09
2	09.10	22,0	22,0	0,0	100,00
3	09.20	21,5	21,4	0,1	99,53
4	09.30	21,8	21,6	0,2	99,08
5	09.40	22,0	21,9	0,1	99,55
6	09.50	21,9	21,8	0,1	99,54
7	10.00	22,1	22,0	0,1	99,55
8	10.10	21,7	21,9	0,2	99,08
9	10.20	23,0	22,9	0,1	99,57
10	10.30	21,9	21,9	0,0	100,00
	Rata-rata			0,11	99,50



Gambar 3. Grafik Perbandingan Pembacaan Suhu Referensi dan Sensor XY-MD02

Hasil validasi notifikasi Telegram disajikan pada Tabel 3. Notifikasi tidak dikirim pada suhu di bawah ambang dan selalu terkirim pada suhu di atas 25 °C, dengan waktu penerimaan sekitar 1–2 detik. Saat suhu kembali ≤ 25 °C, sistem mengirim notifikasi bahwa kondisi telah kembali normal. Pesan memuat nilai suhu, status ruangan, dan waktu kejadian.

Tabel 3. Hasil Validasi Notifikasi Telegram

No	Suhu Sensor (°C)	Kondisi yang Diharapkan	Hasil Telegram	Status
1	20,5	Tidak ada notifikasi	Tidak terkirim	Sesuai
2	21,8	Tidak ada notifikasi	Tidak terkirim	Sesuai
3	22,0	Tidak ada notifikasi	Tidak terkirim	Sesuai
4	25,1	Notifikasi terkirim	Terkirim	Sesuai
5	25,5	Notifikasi terkirim	Terkirim	Sesuai
6	26,0	Notifikasi terkirim	Terkirim	Sesuai

Pembahasan

Tujuan pertama terjawab melalui sistem yang berhasil dirancang dan diimplementasikan. Setiap komponen menjawab satu mata rantai 5 *Whys*: sensor RS-485 menggantikan termometer pasif, *gateway* dan *router* menyediakan jalur transmisi, logika ambang pada Node-RED menggantikan inspeksi manual, dan Telegram menjangkau teknisi yang tidak berada di *shelter*. Penggunaan RS-485 Modbus RTU dipilih karena tahan terhadap gangguan elektromagnetik di ruang UPS yang berisi inverter dan transformator, sejalan dengan keandalan Modbus pada integrasi perangkat industri (Mulyadi et al., 2021; Prastiwi et al., 2023). Akurasi rata-rata 99,5% dengan selisih maksimum 0,2 °C menunjukkan sensor XY-MD02 mampu merepresentasikan suhu ruang dengan baik. Selisih yang ada dapat dipengaruhi faktor lingkungan, karakteristik respons sensor, dan perbedaan waktu pengambilan data. Resolusi ini memadai untuk membedakan kondisi normal dan tidak normal di sekitar ambang 25 °C, karena kejadian di *logbook* berada pada 26–28 °C, jauh di atas selisih pembacaan sensor. Notifikasi yang terkirim pada seluruh skenario di atas ambang, termasuk pada 25,1 °C, menunjukkan logika ambang bekerja tepat.

Dibandingkan penelitian terdahulu yang menggunakan DHT11/DHT22 dan mikrokontroler pada ruang server (Fadillah & Permata, 2024; Karlina & Putra, 2024; Ilmi et al., 2024), sistem ini menggunakan sensor dan komunikasi tingkat industri serta Node-RED yang disarankan oleh Syafii et al. (2024) dan Ilmi et al. (2024). Hasilnya sejalan dengan Karlina dan Putra (2024) bahwa kombinasi monitoring dan notifikasi meningkatkan efektivitas pemeliharaan, dengan tambahan notifikasi pemulihan dan pencatatan .csv untuk analisis tren. Tujuan kedua terjawab dari sisi pemantauan: sistem memberi *early warning* dalam 1–2 detik sehingga teknisi dapat bertindak sebelum suhu berlangsung lama di atas 25 °C, yang menurut IEEE Std 1188 mempercepat degradasi baterai VRLA. Karena masih berupa rancang bangun, dampaknya terhadap peningkatan kinerja UPS secara langsung, misalnya umur baterai, belum dapat diukur dan memerlukan pengamatan jangka panjang.

KESIMPULAN

Sistem monitoring suhu ruang UPS MPH 2 berbasis IoT berhasil dirancang menggunakan sensor XY-MD02 dengan RS-485 Modbus RTU, *gateway* Modbus TCP/IP, dan Node-RED sebagai HMI. Sistem membaca suhu secara *real-time* dengan akurasi rata-rata 99,5% (selisih maksimum 0,2 °C) terhadap termometer referensi, menampilkan status, *gauge*, dan grafik tren, mencatat data ke berkas .csv, serta membangkitkan alarm suara dan notifikasi Telegram saat suhu melebihi 25 °C dengan tingkat keberhasilan 100% dan waktu respons 1–2 detik. Sistem ini menghilangkan jeda pengawasan manual sehingga kenaikan suhu dapat ditangani lebih cepat dan mendukung keandalan suplai daya cadangan AFL. Keterbatasan penelitian ini adalah

pengujian akurasi yang hanya mencakup 10 sampel dalam rentang suhu sempit (21,4–23,0 °C), pengujian notifikasi yang terbatas pada enam skenario, serta dampak terhadap kinerja UPS yang belum diukur secara langsung. Pengembangan selanjutnya disarankan memanfaatkan pembacaan kelembapan yang sudah didukung sensor XY-MD02 untuk mencegah kondensasi (> 60% RH) dan muatan elektrostatik (< 40% RH), menambahkan pengaturan jeda notifikasi untuk mencegah *alarm fatigue* saat suhu berfluktuasi di sekitar ambang, serta menerapkan AI atau *machine learning* untuk *predictive maintenance*.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada InJourney Airports Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai atas kesempatan dan dukungan penelitian, serta kepada Program Studi Diploma IV Teknik Listrik Bandara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug.

DAFTAR PUSTAKA

- Erwin, E. M. Y., & Pratama, F. (2023). Rancang bangun sistem monitoring suhu dan kelembaban ruang server berbasis IoT menggunakan Arduino pada PT. Bintaro Serpong Damai. *Jurnal SISKOM-KB (Sistem Komputer dan Kecerdasan Buatan)*, 7(1), 15–22. <https://doi.org/10.47970/siskom-kb.v7i1.453>
- Fadillah, S. A., & Permata, E. (2024). Monitoring suhu dan kelembaban di ruang data center Dinas Komunikasi Informatika Statistik dan Persandian Provinsi Banten berbasis Internet of Things (IoT). *Journal of Electrical Engineering and Computer (JEECOM)*, 98–109. <https://doi.org/10.33650/jeeecom.v4i2>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660.
- IEC. (2018). *IEC 62040-1: Uninterruptible power systems (UPS) – Part 1: Safety requirements*. International Electrotechnical Commission.
- IEEE. (2005). *IEEE Std 1188-2005: IEEE recommended practice for maintenance, testing, and replacement of valve-regulated lead-acid (VRLA) batteries for stationary applications*. IEEE.
- Ilmi, F. A., Sasmoko, D., Suasana, I. S., Sulartopo, & Putra, T. W. A. (2024). Sistem monitoring suhu dan kelembaban pada ruang server berbasis Internet of Things (studi pada Rumah Sakit Roemani Muhammadiyah Semarang). *Saturnus: Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, 2(3). <https://doi.org/10.61132/saturnus.v2i3.186>
- International Civil Aviation Organization. (2018). *Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation: Aerodromes, Volume I*. ICAO.
- Karlina, U., & Putra, M. Y. (2024). Monitoring suhu ruang server berbasis Internet of Things (IoT) pada Universitas Bina Insani. *Saturnus: Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, 9(2), 189–202.
- Mulyadi, I. H., Mahdaliza, R., Darmoyono, A. G., Prayoga, S., & Kamarudin, K. (2021). Modul komunikasi Modbus RTU over RS485 berbasis Arduino. *Journal of Applied Electrical Engineering*, 5(1), 26–29. <https://doi.org/10.30871/jaee.v5i1.3070>
- Prastiwi, A. S., Munadhif, I., Rachman, I., Adhitya, R. Y., & R. I. (2023). Integrasi sistem komunikasi Modbus TCP/IP pada PLC Siemens S7-1200, ESP32, dan HMI. *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri (Elkolind)*, 10.
- Saputra, A., Amri, & Indrawati. (2019). Sistem monitoring suhu ruang server berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal TRIK*, Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- Syafii, O. M. N., Astutik, I. R. I., & Hindarto. (2024). Penerapan monitoring dan controlling suhu ruang server berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 8(1). <https://doi.org/10.30865/mib.v8i1.7141>