

Rancang Bangun Sistem Monitoring pada Kondisi Kapasitor Bank Berbasis IoT Dengan Protokol MQTT

Amiratul Hasanah¹ Feti Fatonah²

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

Email: tulhasanahamira@gmail.com¹ feti_fatonah@yahoo.co.id²

Abstrak

Kapasitor bank merupakan komponen penting dalam sistem kelistrikan bandara yang berfungsi memperbaiki faktor daya, namun rentan mengalami kegagalan akibat panas berlebih (overheating) yang sulit terdeteksi sejak dini karena minimnya sistem pemantauan otomatis. Penelitian ini bertujuan merancang bangun sistem monitoring kondisi kapasitor bank berbasis Internet of Things (IoT) untuk memantau parameter suhu, tegangan, dan arus secara real-time sebagai upaya deteksi dini kegagalan. Sistem dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32 yang diintegrasikan dengan sensor suhu DS18B20 dan sensor listrik PZEM-004T. Data sensor dikirim melalui jaringan Wi-Fi menuju Blynk menggunakan protokol MQTT untuk ditampilkan pada dashboard, serta menuju Google Sheets menggunakan protokol HTTP sebagai media pencatatan riwayat data. Sistem dilengkapi notifikasi otomatis melalui Telegram Bot yang aktif apabila nilai parameter melampaui ambang batas yang ditentukan. Pengujian dilakukan di Laboratorium Kelistrikan Politeknik Penerbangan Indonesia Curug dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur standar (multimeter dan clamp meter). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor DS18B20 memiliki tingkat akurasi sebesar 99,51% dan sensor PZEM-004T sebesar 99,79% untuk parameter tegangan serta 97,34% untuk parameter arus, dengan sistem notifikasi Telegram yang bekerja secara andal dan responsif. Hasil ini membuktikan bahwa sistem yang dirancang mampu menjadi alat bantu pemantauan kondisi kapasitor bank secara jarak jauh, akurat, dan efisien, sehingga berpotensi mendukung upaya mitigasi risiko kegagalan kelistrikan pada fasilitas bandara.

Kata Kunci: DS18B20, ESP32, Internet of Things, Kapasitor Bank, MQTT, PZEM-004T, Sistem Peringatan Dini



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

PENDAHULUAN

Bandar udara memerlukan infrastruktur kelistrikan yang andal untuk mendukung seluruh aktivitas operasionalnya, dan kapasitor bank berperan penting dalam menjaga kestabilan tegangan serta memperbaiki faktor daya pada sistem distribusi tersebut. Dalam operasionalnya, kapasitor bank bekerja secara kontinu di bawah pengaruh beban fluktuatif dan temperatur panel yang tinggi, sehingga rentan mengalami thermal runaway dan dielectric breakdown yang dapat berujung pada kebakaran panel apabila tidak terdeteksi sejak dini. Beberapa insiden nyata, termasuk ledakan kapasitor bank di Bandara Internasional Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggan Balikpapan (Zahra, 2024) serta kerusakan komponen serupa yang teramati langsung oleh penulis di Bandara Soekarno-Hatta dan Bandara Juanda, menunjukkan bahwa sistem pemantauan manual dan periodik yang umum digunakan saat ini belum mampu memberikan peringatan dini sebelum kegagalan komponen terjadi. Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem monitoring kapasitor bank maupun panel kelistrikan berbasis IoT, namun umumnya hanya memantau satu parameter secara terpisah, menggunakan platform transmisi data yang berbeda (mis. ThingSpeak), atau tidak dilengkapi mekanisme notifikasi otomatis kepada teknisi (Sopyan et al., 2023; Ikhsan et al., 2025). Penelitian pada objek panel tegangan rendah lain telah mengombinasikan sensor PZEM-004T

dan DS18B20 dengan notifikasi Telegram, tetapi belum secara spesifik membahas konsep deteksi dini pada kapasitor bank sebagai objek utamanya. Kesenjangan tersebut menjadi dasar bagi penelitian ini untuk mengintegrasikan tiga parameter (suhu, tegangan, dan arus) sekaligus dalam satu sistem berbasis protokol MQTT dan HTTP, dilengkapi notifikasi dini otomatis melalui Telegram Bot, secara khusus untuk kondisi kapasitor bank pada lingkungan kebandarudaraan. Penelitian ini bertujuan merancang bangun dan menguji tingkat akurasi sistem monitoring tersebut sebagai upaya mitigasi risiko kegagalan kelistrikan pada fasilitas bandara.

Penelitian Terdahulu yang Relevan

No	Penulis/ Tahun	Judul	Metode/ Teknologi	Perbedaan dengan Penelitian Ini
1	Sopyan, Purnawan, & Fath (2023)	Rancang Bangun Alat Monitoring dan Proteksi Kapasitor Bank Berbasis IoT	ESP32 + DS18B20, platform ThingSpeak	Hanya memantau suhu, belum mengukur tegangan/arus, belum menerapkan MQTT maupun notifikasi otomatis.
2	Ikhsan, Abrianto, & Gultom (2025)	Analisis Kondisi Kapasitor Bank pada Panel Distribusi Gedung X di Jakarta	Pengukuran manual/periodik arus dan cos phi	Bersifat pengukuran manual berkala, bukan pemantauan jarak jauh kontinu berbasis IoT.
3	Rahmawati, Ramadhan, & Kadarina (2024)	Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Daya pada Panel Saklar Tegangan Rendah Real-Time Berbasis IoT	ESP32, PZEM-004T (3 fasa), DS18B20, Telegram, Google Sheets	Objek penelitian adalah panel saklar tegangan rendah, bukan kondisi fisik kapasitor bank secara spesifik.
4	Peneliti JITEL (2023)	Sistem Monitoring Beban Listrik dan Perbaikan Faktor Daya Menggunakan PZEM-004T dan Dashboard Adafruit Berbasis IoT	PZEM-004T, dashboard MQTT Adafruit, R&D model ADDIE	Berfokus pada kontrol otomatis kapasitor untuk faktor daya, tidak memantau suhu sehingga tidak mendeteksi overheating.
5	Rianto & Kristiyono (2023)	Perancangan Temperatur Deteksi Dini pada Ruang Pendingin Obat Vaksin dengan Data Logger Arduino dan DS18B20	Arduino, DS18B20 sebagai data logger suhu	Diterapkan pada domain penyimpanan obat, tidak melibatkan parameter kelistrikan, MQTT, maupun notifikasi Telegram.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation). Sesuai arahan pembimbing, cakupan penelitian secara formal dibatasi hanya sampai tahap Design, sedangkan perakitan purwarupa dan pengujian fungsional dilakukan sebagai bagian dari proses verifikasi desain (design verification) berskala laboratorium, bukan sebagai pelaksanaan penuh tahap Development, Implementation, dan Evaluation pada skala industri. Perangkat keras utama yang digunakan meliputi mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor suhu DS18B20 untuk mendeteksi potensi overheating pada permukaan kapasitor, serta sensor PZEM-004T untuk mengukur tegangan dan arus AC. Data hasil pembacaan sensor dikirim melalui jaringan Wi-Fi menuju platform Blynk menggunakan protokol MQTT untuk ditampilkan secara real-time pada dashboard, serta menuju Google Sheets melalui protokol HTTP dengan perantara Google Apps Script sebagai media pencatatan riwayat data (data logging). Notifikasi peringatan dini dikirimkan langsung oleh firmware ESP32 ke Telegram Bot sebanyak lima kali berturut-turut pada saat kondisi parameter pertama kali melampaui ambang batas yang ditentukan (suhu $\geq 55^{\circ}\text{C}$, tegangan $> 230\text{ V}$, arus $> 0,416\text{ A}$), sehingga notifikasi tidak terkirim berulang secara terus-menerus selama kondisi abnormal masih berlangsung. Pengujian dilakukan di Laboratorium Kelistrikan Politeknik Penerbangan Indonesia Curug dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur standar terkalibrasi, yaitu termometer/thermogun

untuk suhu serta multimeter dan clamp meter (Tang Ampere) untuk tegangan dan arus. Pengujian suhu dilakukan pada 20 titik pengukuran selama proses pemanasan bertahap menggunakan beban motor listrik sebagai sumber panas, sedangkan pengujian tegangan dan arus dilakukan pada 5 variasi beban untuk memvalidasi akurasi pada kondisi beban yang berbeda-beda. Tingkat akurasi dihitung berdasarkan persentase error rata-rata antara pembacaan sensor dan alat ukur standar.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Sistem monitoring yang dibangun berhasil membaca dan menampilkan parameter suhu, tegangan, dan arus secara real-time pada dashboard Blynk, mencatat riwayat data pada Google Sheets, serta mengirimkan notifikasi otomatis ke Telegram Bot saat parameter melampaui ambang batas. Hasil perbandingan akurasi antara pembacaan sensor dan alat ukur standar disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Akurasi Sensor

Parameter	Sensor	Rata-rata Error (%)	Tingkat Akurasi (%)	Jumlah Sampel
Suhu	DS18B20	0,49	99,51	20
Tegangan	PZEM-004T	0,21	99,79	5
Arus	PZEM-004T	2,66	97,34	5

Error tertinggi pada pengujian arus tercatat sebesar 5,17% (selisih 15 mA antara pembacaan sistem 275 mA dan Tang Ampere 290 mA), lebih tinggi dibandingkan error pada pengujian suhu maupun tegangan. Pengujian fungsional sistem notifikasi menunjukkan bahwa Telegram Bot berhasil mengirimkan lima notifikasi berturut-turut secara konsisten setiap kali parameter melampaui ambang batas yang ditentukan, tanpa pesan yang gagal terkirim maupun terlambat diterima.

Pembahasan

Tingkat akurasi sensor suhu (99,51%) dan tegangan (99,79%) pada penelitian ini menunjukkan hasil yang sebanding dengan penelitian sejenis yang menggunakan kombinasi sensor DS18B20 dan PZEM-004T pada objek panel kelistrikan lain (Rahmawati et al., 2024), sehingga mengonfirmasi bahwa kombinasi sensor tersebut layak digunakan untuk aplikasi monitoring kelistrikan yang membutuhkan akurasi tinggi. Sementara itu, tingkat error yang relatif lebih tinggi pada parameter arus (2,66%) sejalan dengan karakteristik Current Transformer (CT) yang lebih sensitif terhadap fluktuasi beban kecil, sebagaimana juga dilaporkan pada penelitian penggunaan CT pada sistem tegangan rendah (Arifin Abd Aziz, 2008). Dibandingkan dengan penelitian Sopyan et al. (2023) yang hanya memantau satu parameter (suhu) melalui platform ThingSpeak, sistem pada penelitian ini mengintegrasikan tiga parameter sekaligus (suhu, tegangan, arus) melalui kombinasi protokol MQTT dan HTTP, disertai notifikasi dini otomatis ke Telegram Bot yang belum tersedia pada penelitian tersebut. Hasil ini juga memperkuat temuan bahwa suhu, tegangan, dan arus merupakan tiga indikator yang saling melengkapi dalam menggambarkan kondisi kesehatan kapasitor bank secara menyeluruh (Guddanti et al., 2025), sehingga pemantauan simultan terhadap ketiganya menghasilkan deteksi dini yang lebih komprehensif dibandingkan hanya memantau satu parameter tunggal. Notifikasi yang dikirimkan langsung dari firmware ESP32 tanpa bergantung pada respons balik dari layanan cloud pihak ketiga juga memberikan keunggulan dari sisi latensi peringatan dibandingkan pendekatan yang menempatkan logika notifikasi pada sisi server (Periyaldi & Wibawa, 2018).

KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan rancang bangun sistem monitoring kondisi kapasitor bank berbasis IoT yang mampu memantau parameter suhu, tegangan, dan arus secara real-time melalui integrasi sensor DS18B20 dan PZEM-004T dengan mikrokontroler ESP32. Sistem berhasil mengirimkan data ke dashboard Blynk melalui protokol MQTT dan mencatat riwayat data ke Google Sheets melalui protokol HTTP, serta mengirimkan notifikasi peringatan dini secara otomatis ke Telegram Bot ketika parameter melampaui ambang batas yang ditentukan. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi sebesar 99,51% untuk sensor suhu, 99,79% untuk tegangan, dan 97,34% untuk arus, yang membuktikan bahwa sistem ini layak digunakan sebagai alat bantu pemantauan kondisi kapasitor bank secara jarak jauh, akurat, dan efisien. Keterbatasan penelitian ini antara lain jumlah sampel pengujian tegangan dan arus yang masih terbatas (5 sampel) dibandingkan pengujian suhu (20 sampel), serta pengujian yang baru dilakukan pada skala laboratorium, belum pada kondisi operasional kapasitor bank yang sesungguhnya di lapangan. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas jumlah sampel pengujian kelistrikan, mengimplementasikan algoritma deteksi berbasis tren perubahan data (rate-of-change) untuk mendukung prediksi kegagalan yang lebih dini, serta menguji sistem pada kondisi operasional kapasitor bank yang sesungguhnya di lingkungan bandara. Penulis menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing dan pihak Laboratorium Kelistrikan Politeknik Penerbangan Indonesia Curug atas dukungan yang diberikan selama penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Almanda, D., & Majid, N. (2019). Studi Analisa Penyebab Kerusakan Kapasitor Bank Sub Station Welding di PT. Astra Daihatsu Motor.
- Arifin Abd Aziz, M. K. (2008). Current transformer performance in high voltage and low voltage systems (Doctoral dissertation, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia).
- Branch, R. M. (2009). Instructional design: The ADDIE approach (Vol. 722). Springer.
- Guddanti, K. P., Bharati, A. K., Nekkalapu, S., McWherter, J., & Morris, S. L. (2025). A comprehensive review: Impacts of extreme temperatures due to climate change on power grid infrastructure and operation. *IEEE Access*, 13, 49375–49415. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3548531>
- Ikhsan, M., Abrianto, H., & Gultom, A. (2025). Analisis kondisi kapasitor bank pada panel distribusi Gedung X di Jakarta.
- Periyaldi, B. A., & Wibawa, A. (2018). Implementasi sistem monitoring suhu ruang server Satnetcom berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan protokol komunikasi Message Queue Telemetry Transport (MQTT). *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*.
- Rahmawati, D., Ramadhan, R., & Kadarina, T. M. (2024). Perancangan sistem monitoring kualitas daya pada panel saklar tegangan rendah secara real-time berbasis IoT.
- Rianto, B., & Kristiyono, A. (2023). Perancangan temperatur deteksi dini pada ruang pendingin obat vaksin dengan temperatur data logger mikrokontrol Arduino dan sensor suhu DS18B20.
- Sopyan, Y., Purnawan, W., & Fath, N. (2023). Rancang bangun alat monitoring dan proteksi kapasitor bank berbasis Internet of Things.
- Zahra, F. H. (2024). Prototipe otomatisasi alarm and fire extinguisher Sulaiman Sepinggan Balikpapan berbasis Internet of Things. Repositori Poltekbang Surabaya.
- Zalasena, M. K. R., & Paramytha, N. (2024). Sistem monitoring arus dan tegangan berbasis IoT. *Journal Zetroem*, 6(2), 85–90.