

**SISTEM INFORMASI DAN MONITORING PEMELIHARAAN SALURAN
KABEL TEGANGAN RENDAH (SKTR) TRANSFORMATOR BERBASIS
INTERNET OF THINGS**

SKRIPSI

Diajukan sebagai syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Strata Satu (S1) Jurusan Teknik Elektro



MUHAMMAD MAULA ARDHINATA PUTRA KRISWANTO

NPM. 21801053046

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM MALANG

2025

ABSTRAK

Muhammad Maula Ardhinata Putra Kriswanto. 21801053046. Sistem Informasi dan Monitoring Pemeliharaan Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR) Transformator Berbasis Internet of Things. Pembimbing 1: Bambang Minto Basuki 2: Anang Habibi. Teknik Elektro. Fakultas Teknik. Universitas Islam Malang.

Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR) memerlukan monitoring berkelanjutan untuk mencegah gangguan. Inspeksi manual konvensional setiap 1-3 bulan seringkali terlambat mendeteksi kerusakan dini, berpotensi menyebabkan downtime dan biaya perbaikan tinggi. Penelitian ini bertujuan merancang sistem monitoring pemeliharaan SKTR transformator berbasis Internet of Things (IoT) untuk monitoring real-time parameter arus, tegangan, dan suhu secara simultan dengan mikrokontroler ESP32 sebagai web server lokal dalam mode Access Point. Dashboard web dapat diakses real-time pada IP 192.168.4.1 dengan algoritma deteksi anomali dan sistem alert multi-modal untuk peringatan dini kondisi abnormal.

Hasil pengujian menunjukkan akurasi tinggi: sensor arus SCT-013 mencapai 97.79% (error 2.21%), sensor tegangan ZMPT101B mencapai 99.09-99.40% (error 0.60-0.91%), dan sensor suhu MAX6675 mencapai 98.33-98.86% (error 1.14-1.67%). Sistem deteksi anomali memiliki responsivitas <1 detik dengan akurasi 100% mendeteksi over-voltage dan over-current. Validasi pada transformator 250 kVA selama 24 jam menunjukkan kehandalan 100% uptime dengan monitoring kontinyu tanpa gangguan. Sistem monitoring SKTR berbasis IoT terbukti meningkatkan efektivitas pemeliharaan preventif dengan data real-time akurat dan peringatan dini responsif, memberikan kontribusi teknologi monitoring infrastruktur kelistrikan yang lebih modern dibandingkan inspeksi manual konvensional.

Kata Kunci : *Internet of Things (IoT), SKTR, Monitoring Real-time, ESP32, Deteksi Anomali*

ABSTRACT

Muhammad Maula Ardhinata Putra Kriswanto. 21801053046. Information System and Maintenance Monitoring of Low Voltage Cable Lines (SKTR) Transformer Based on Internet of Things. Supervisor 1: Bambang Minto Basuki 2: Anang Habibi. Electrical Engineering. Faculty of Engineering. Islamic University of Malang.

Low Voltage Cable Lines (SKTR) require continuous monitoring to prevent failures. Conventional manual inspections every 1-3 months often fail to detect early damage, potentially causing downtime and high repair costs. This research aims to design an IoT-based SKTR transformer maintenance monitoring system for real-time monitoring of current, voltage, and temperature parameters simultaneously using ESP32 microcontroller as local web server in Access Point mode. Web dashboard can be accessed real-time at IP 192.168.4.1 with anomaly detection algorithms and multi-modal alert systems for early warning of abnormal conditions.

Test results show high accuracy: SCT-013 current sensor achieves 97.79% accuracy (2.21% error), ZMPT101B voltage sensor achieves 99.09-99.40% accuracy (0.60-0.91% error), and MAX6675 temperature sensor achieves 98.33-98.86% accuracy (1.14-1.67% error). Anomaly detection system has responsiveness <1 second with 100% accuracy in detecting over-voltage and over-current. Validation on 250 kVA transformer for 24 hours shows 100% uptime reliability with continuous monitoring without interruption. IoT-based SKTR monitoring system proves to enhance preventive maintenance effectiveness with accurate real-time data and responsive early warning, contributing to more modern electrical infrastructure monitoring technology compared to conventional manual inspection.

Keywords: *Internet of Things (IoT), SKTR, Real-time Monitoring, ESP32, Anomaly Detection.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR) pada transformator merupakan bagian penting dalam sistem distribusi listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu distribusi ke konsumen akhir. Keandalan SKTR sangat menentukan kualitas dan kontinuitas pasokan listrik. Namun, dalam praktiknya, pemeliharaan SKTR sering menghadapi kendala, terutama karena banyaknya gardu distribusi yang tersebar di berbagai lokasi yang sulit dijangkau. Inspeksi manual yang dilakukan secara berkala, biasanya hanya dapat dilakukan dalam rentang waktu satu hingga tiga bulan sekali, sehingga berpotensi menyebabkan keterlambatan dalam mendeteksi kerusakan atau penurunan kualitas saluran kabel.

Berbagai penelitian dalam lima tahun terakhir telah mengkaji penerapan Internet of Things (IoT) untuk monitoring sistem kelistrikan, khususnya pada jaringan distribusi dan transformator. Misalnya, penelitian oleh Putra et al. (2021) mengembangkan sistem monitoring arus dan tegangan berbasis IoT untuk distribusi listrik, namun hanya fokus pada pengukuran parameter listrik tanpa integrasi sensor suhu yang penting untuk deteksi dini overheating pada kabel. Selain itu, sistem yang dikembangkan masih bergantung pada koneksi internet eksternal tanpa menyediakan solusi monitoring lokal yang dapat meningkatkan keandalan sistem (Putra, H., et al., 2021).

Penelitian lain oleh Sari dan Nugroho (2022) menggunakan sensor suhu termokopel untuk memantau temperatur transformator, namun belum menggabungkan data arus dan tegangan secara simultan sehingga kurang memberikan gambaran menyeluruh kondisi operasional SKTR (Sari, D., & Nugroho, A., 2022). Selain itu, sebagian besar sistem monitoring yang ada belum mengoptimalkan penggunaan mikrokontroler dengan kemampuan web server lokal, yang dapat mengurangi ketergantungan pada jaringan internet dan meningkatkan aksesibilitas data secara real-time di lapangan (Wahyudi et al., 2020).

Keterbatasan inspeksi manual saat ini menimbulkan risiko kerusakan yang tidak terdeteksi lebih awal, yang dapat berakibat pada gangguan pasokan listrik, downtime yang tidak direncanakan, dan biaya perbaikan yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang mampu melakukan monitoring kondisi SKTR secara real-time dan memberikan informasi yang akurat untuk mendukung pemeliharaan preventif.

Teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan solusi inovatif. Dengan mengintegrasikan sensor-sensor yang mampu mengukur parameter penting seperti arus listrik, tegangan, dan suhu pada SKTR, data kondisi saluran kabel dapat dikumpulkan secara kontinu dan dikirimkan ke platform monitoring yang dapat diakses secara remote. Hal ini memungkinkan petugas pemeliharaan untuk melakukan pengawasan secara real-time, mendeteksi anomali lebih cepat, dan mengambil tindakan preventif sebelum terjadi kerusakan serius.

Dari tinjauan tersebut, terlihat bahwa masih terdapat kekurangan dalam sistem monitoring SKTR yang mengintegrasikan pengukuran arus, tegangan, dan suhu secara simultan dengan kemampuan pengolahan data lokal dan penyajian informasi secara real-time melalui web server. Hal ini menjadi tantangan penting mengingat kebutuhan pemeliharaan prediktif yang efektif untuk mencegah kerusakan dan gangguan listrik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengisi gap tersebut dengan merancang sistem informasi dan monitoring pemeliharaan SKTR berbasis IoT yang menggabungkan ketiga parameter tersebut menggunakan ESP32 sebagai pengolah data sekaligus web server lokal.

Penggunaan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan data sensor menjadi pilihan yang tepat karena kemampuannya dalam mengelola berbagai input sensor analog dan digital serta konektivitas WiFi yang mendukung komunikasi data secara efisien. Sistem monitoring berbasis IoT ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pemeliharaan SKTR transformator, mengurangi downtime, dan memperpanjang umur peralatan kelistrikan..

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang sistem monitoring pemeliharaan Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR) transformator yang mampu mengukur arus, tegangan, dan suhu secara simultan?
2. Bagaimana mengimplementasikan mikrokontroler ESP32 sebagai pengolah data sekaligus web server lokal untuk menampilkan data monitoring secara real-time?
3. Bagaimana sistem dapat mendeteksi anomali operasional yang berpotensi menyebabkan kerusakan pada SKTR?

1.3 Batasan Masalah

Dalam menyelesaikan penelitian ini diberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Sistem hanya akan memonitor parameter arus menggunakan sensor SCT-013, tegangan menggunakan sensor ZMPT101B, dan suhu menggunakan termokopel tipe K dengan MAX6675.
2. Pengolahan data dan penyajian informasi dilakukan menggunakan ESP32 Dev Module dengan web server lokal.
3. Sistem monitoring difokuskan pada Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR) pada transformator distribusi listrik.
4. Notifikasi dan analisis lanjutan di luar pengiriman data real-time tidak menjadi fokus utama dalam penelitian ini.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan penelitian skripsi ini sebagai berikut :

1. Merancang dan mengembangkan sistem monitoring SKTR berbasis IoT yang mengintegrasikan pengukuran arus, tegangan, dan suhu secara simultan.

2. Mengimplementasikan ESP32 sebagai pusat pengolahan data dan web server lokal untuk menampilkan data monitoring secara real-time.
3. Membangun algoritma sederhana untuk mendeteksi anomali operasional berdasarkan data sensor.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat tercapai dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Memberikan solusi monitoring SKTR yang lebih efektif dan efisien dengan pemanfaatan teknologi IoT.
2. Memudahkan petugas pemeliharaan dalam melakukan pemantauan kondisi SKTR secara real-time tanpa harus melakukan inspeksi manual secara rutin.
3. Meningkatkan keandalan sistem distribusi listrik dengan deteksi dini potensi kerusakan pada SKTR.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penelitian ini memiliki struktur penulisan yang meliputi :

- BAB 1 Pendahuluan: Berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, dan sistematika penulisan.
- BAB 2 Tinjauan Pustaka: Membahas teori dan penelitian terdahulu terkait SKTR, IoT, sensor, mikrokontroler ESP32, dan sistem monitoring.
- BAB 3 Metodologi Penelitian: Menjelaskan metode penelitian, perancangan sistem, komponen perangkat keras dan lunak, serta prosedur implementasi dan pengujian.
- BAB 4 Hasil dan Pembahasan: Menyajikan hasil implementasi sistem, pengujian sensor, analisis data, dan pembahasan kelebihan serta kekurangan sistem.
- BAB 5 Kesimpulan dan Saran: Merangkum hasil penelitian dan memberikan rekomendasi untuk pengembangan selanjutnya.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, perancangan, implementasi, dan pengujian sistem informasi dan monitoring pemeliharaan Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR) transformator berbasis Internet of Things (IoT), dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sistem monitoring SKTR berbasis IoT berhasil dirancang dengan mengintegrasikan tiga sensor (SCT-013, ZMPT101B, MAX6675) dengan ESP32. Hasil pengujian menunjukkan akurasi tinggi pada semua sensor: sensor arus SCT-013 dengan Filter Module mencapai akurasi 97.79% (error 2.21%), sensor tegangan ZMPT101B mencapai akurasi 99.09-99.40% (error 0.60-0.91%), dan sensor suhu MAX6675 mencapai akurasi 98.33-98.86% (error 1.14-1.67%). Sistem mampu melakukan pembacaan simultan ketiga parameter dengan interval 5 detik secara kontinyu.
2. ESP32 berhasil diimplementasikan sebagai Access Point (IP 192.168.4.1) dengan kehandalan 100% uptime selama pengujian 24 jam. Web dashboard dapat diakses secara stabil dari jarak 50 meter dengan responsivitas real-time. Sistem logging menggunakan RTC DS1307 memberikan timestamp akurat dengan format DD/MM/YYYY HH:MM:SS. Data ditampilkan secara real-time dengan refresh interval 5-6 detik tanpa lag signifikan.
3. Sistem deteksi anomali berhasil diimplementasikan dengan threshold: tegangan (200-250V), arus (300A/80% kapasitas), dan suhu (60°C). Responsivitas deteksi anomali mencapai <1 detik dengan tingkat akurasi 100% dalam mendeteksi kondisi over-voltage (351.4V dan 725.31V) dan over-current. Sistem alert multi-modal (visual dan audio) bekerja efektif tanpa false positive selama pengujian. Validasi pada transformator 250kVA selama 24 jam menunjukkan sistem dapat mendeteksi kondisi alert saat arus >300A dengan akurasi sempurna.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan identifikasi kekurangan sistem saat ini, beberapa saran untuk penelitian dan pengembangan selanjutnya:

1. Kekurangan Sistem Saat Ini yang Perlu Diperbaiki

a. Keterbatasan Monitoring Fase Sistem saat ini hanya memonitor satu fase (fase R), padahal transformator distribusi umumnya 3 fase. Penelitian selanjutnya perlu mengembangkan monitoring simultan 3 fase untuk gambaran kondisi yang lebih komprehensif.

b. Penyimpanan Data Terbatas Sistem belum memiliki database untuk penyimpanan data historis jangka panjang, sehingga analisis trend dan prediktif belum optimal. Implementasi database lokal (SQLite/MySQL) diperlukan untuk data logging yang lebih robust.

c. Sistem Alert Terbatas Alert hanya berupa buzzer lokal dan tampilan web dashboard. Belum ada notifikasi remote (SMS/email/push notification) yang memungkinkan monitoring dari jarak jauh.

2. Penelitian Lanjutan yang Disarankan

a. Pengembangan Algoritma Prediktif

- Implementasi machine learning untuk prediksi kondisi transformator berdasarkan pattern data historis
- Pengembangan model prediktif maintenance untuk menentukan jadwal pemeliharaan optimal
- Penelitian algoritma anomaly detection yang lebih sophisticated dengan deep learning

b. Ekspansi Parameter Monitoring

- Integrasi monitoring power quality (THD, frequency, power factor)
- Penambahan sensor vibrasi untuk deteksi mechanical fault
- Monitoring kondisi minyak transformator (moisture, dissolved gas analysis)

c. Peningkatan Keandalan Sistem

- Penelitian redundansi sistem dan fail-safe mechanism
- Pengembangan self-diagnostic capability untuk sistem monitoring
- Implementasi edge computing untuk processing data yang lebih cepat

d. Standardisasi dan Interoperabilitas

- Penelitian integrasi dengan protocol industri standar (Modbus, IEC 61850)
- Pengembangan API untuk integrasi dengan sistem SCADA existing
- Studi kompatibilitas dengan smart grid infrastructure

Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengatasi keterbatasan sistem saat ini dan mengembangkan solusi monitoring yang lebih komprehensif, reliable, dan applicable untuk implementasi industri skala besar.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376.
- [2] Allegro MicroSystems. (2020). *Current sensor technologies for smart grid applications*. Technical Report.
- [3] Ashton, K. (2009). That 'internet of things' thing. *RFID Journal*, 22(7), 97-114.
- [4] Chen, L., Wang, Y., & Zhang, H. (2020). Performance analysis of ZMPT101B voltage sensor for power quality monitoring applications. *International Journal of Electrical Power Systems*, 45(3), 234-241.
- [5] Espressif Systems. (2021). *ESP32 series datasheet*. Espressif Systems (Shanghai) Pte. Ltd.
- [6] Firdaus, A., Rahman, S., & Putri, D. (2023). Analisis performa sistem monitoring SKTR berbasis IoT dengan berbagai protokol komunikasi. *Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 15(2), 89-97.
- [7] Gonen, T. (2018). *Electric power distribution engineering* (3rd ed.). CRC Press.
- [8] Gunawan, R., & Setiawan, B. (2024). Implementasi dashboard monitoring SKTR berbasis web untuk pemeliharaan prediktif. *Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 12(1), 45-53.
- [9] Hidayat, M., Kusuma, A., & Pratama, D. (2020). Implementation of IoT-based distribution transformer monitoring system. *International Conference on Electrical Engineering and Computer Science*, 156-162.
- [10] Kusuma, W., & Widodo, S. (2023). Sistem monitoring SKTR berbasis IoT dengan notifikasi Telegram. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 8(2), 112-119.
- [11] Liu, X., Zhang, M., & Chen, P. (2019). High-precision voltage measurement using ZMPT101B sensor for smart grid applications. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 68(4), 1245-1253.

- [12] Maxim Integrated. (2019). *MAX6675 cold-junction-compensated K-thermocouple-to-digital converter datasheet*. Maxim Integrated Products, Inc.
- [13] Nugroho, P., Santoso, A., & Wibowo, E. (2022). Implementasi sistem monitoring kesehatan transformator menggunakan metode machine learning. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 11(3), 178-186.
- [14] PLN (Perusahaan Listrik Negara). (2022). *Statistik kelistrikan Indonesia 2022*. PT PLN (Persero).
- [15] Pratama, Y., Sari, I., & Hartono, J. (2023). Pengembangan sistem informasi pemeliharaan preventif jaringan distribusi tegangan rendah. *Seminar Nasional Teknologi Elektro*, 78-85.
- [16] Putra, H., Susanto, R., & Mahendra, F. (2021). Sistem monitoring arus dan tegangan berbasis IoT untuk distribusi listrik. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 9(1), 34-41.
- [17] Rahman, A., & Hasan, M. (2022). IoT-based smart monitoring system for low voltage distribution lines. *International Journal of Smart Grid Technology*, 7(2), 88-95.
- [18] Santoso, B., Wijaya, K., & Nurdin, A. (2021). Desain dan implementasi sistem monitoring transformator distribusi berbasis web. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, 123-130.
- [19] Sari, D., & Nugroho, A. (2022). Temperature monitoring system for power transformers using thermocouple sensors. *Journal of Electrical Power Engineering*, 14(2), 67-74.
- [20] Syahputra, R., Kusuma, B., & Ananda, L. (2019). Smart monitoring of transformer health using Internet of Things (IoT). *IEEE International Conference on Electrical Engineering and Informatics*, 245-250.
- [21] Tobing, B. L. (2019). *Peralatan tegangan tinggi* (2nd ed.). Gramedia Pustaka Utama.
- [22] Wahyudi, S., Prabowo, A., & Setiawan, D. (2020). Internet of Things implementation for electrical distribution monitoring system. *International Conference on Information Technology and Electrical Engineering*, 198-

203.

- [23] Wang, Z., Li, J., & Chen, X. (2018). Accuracy analysis of SCT-013 current transformer for smart grid applications. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 33(2), 892-899.
- [24] Wijaya, A., & Purnama, I. (2021). Rancang bangun sistem monitoring kabel tegangan rendah menggunakan teknologi IoT. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 17(1), 23-30.

