

Monitoring Cerdas Daya dan Suhu Klem CT Berbasis *Internet of Things*

Agus Kiswanto¹, Muhammad Fajri²

^{1,2} Fakultas Teknik, Prodi Teknik Elektro, Universitas Bhayangkara Surabaya

ARTICLE INFO

Article history:

Received : April 18, 2025

Received in revised : October 10, 2025

Accepted : November 15, 2025

Available online : November 30, 2025

Keywords:

IoT

Temperature Monitoring

Power Monitoring

Current Transformer

Power Distribution

Predictive Maintenance.

ABSTRACT

This study presents an Internet of Things (IoT)-based monitoring system designed to measure temperature and power on Current Transformer (CT) connections in electrical distribution substations. The system aims to improve efficiency and safety by enabling real-time monitoring of critical parameters. An MLX90614 sensor measures temperature, while an SCT-013 sensor monitors current and power. Data are processed by an ESP32 microcontroller and transmitted to a cloud platform for continuous observation through a web-based interface. This allows operators to track CT conditions, detect abnormalities, and prevent failures caused by overheating or electrical overloads. Experimental testing shows that the system can measure temperature with an accuracy of $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ and detect power variations with an error of $\pm 1\%$. Real-time alerts support timely decision-making and facilitate predictive maintenance. Compared to manual monitoring, this IoT-based approach offers a more efficient, automated, and reliable method for maintaining substation performance. Overall, the system enhances operational reliability by providing early warnings of abnormal conditions and contributes to improved safety and stability in electrical power distribution.

1 Pendahuluan

Keandalan sistem kelistrikan merupakan aspek yang sangat penting dalam pengelolaan jaringan distribusi tenaga listrik. Tanpa sistem yang andal, suplai listrik kepada konsumen dapat terganggu, menyebabkan gangguan pada aktivitas ekonomi, industri, maupun kehidupan sehari-hari. Salah satu upaya untuk meningkatkan keandalan sistem adalah dengan memastikan seluruh komponen jaringan listrik, terutama yang berada pada titik-titik kritis, berfungsi dengan optimal [1][2][3]. Salah satu komponen vital dalam sistem distribusi tenaga listrik adalah Current Transformer (CT). CT berfungsi sebagai alat bantu pengukuran dan proteksi, dengan menurunkan arus listrik dari level tinggi ke level yang lebih rendah agar dapat diproses oleh perangkat pengukuran dan perlindungan [4][5][6]. Dengan informasi yang diberikan oleh CT, sistem dapat memantau arus listrik yang mengalir serta mendeteksi adanya kelebihan beban atau gangguan arus yang tidak normal. Informasi ini selanjutnya menjadi dasar dalam pengambilan keputusan proteksi dan kontrol sistem [7][8][9].

Namun demikian, performa CT juga sangat dipengaruhi oleh kualitas sambungan pada klem dan konduktor yang menghubungkannya ke jaringan. Koneksi yang tidak sempurna, seperti klem yang longgar atau korosi pada konduktor, dapat menyebabkan peningkatan resistansi pada sambungan. Peningkatan resistansi ini mengakibatkan terjadinya panas berlebih (overheating) yang dalam jangka panjang bisa mengakibatkan degradasi isolasi, percikan api, atau bahkan kebakaran. Tidak hanya itu, suhu tinggi yang tidak terdeteksi pada sambungan dapat mempercepat kerusakan komponen dan mengganggu akurasi pengukuran arus. Masalah ini semakin diperparah karena mayoritas sambungan listrik tidak dilengkapi dengan sistem pemantauan real-time [10][11][12]. Banyak sambungan CT hanya diperiksa secara berkala oleh teknisi melalui inspeksi visual atau menggunakan alat pengukur suhu konvensional. Dalam banyak kasus, kondisi tidak normal baru diketahui setelah terjadi kerusakan atau gangguan listrik. Keterlambatan deteksi ini menjadi tantangan besar dalam manajemen jaringan listrik modern [13][14][15].

Untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi listrik, dibutuhkan sistem pemantauan yang mampu memberikan informasi secara real-time dan berkelanjutan. Pemantauan ini harus mencakup parameter penting seperti suhu dan daya listrik yang melewati sambungan CT [16][17][18]. Dengan pemantauan real-time, operator dapat mendeteksi gejala awal gangguan, seperti kenaikan suhu yang tidak wajar, dan segera melakukan tindakan korektif sebelum terjadi kegagalan. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mendukung sistem pemantauan ini adalah Internet of Things (IoT). IoT merupakan konsep integrasi sensor, perangkat lunak, dan konektivitas jaringan yang

memungkinkan pertukaran data secara otomatis dan berkesinambungan. Dalam konteks sistem kelistrikan, IoT memungkinkan pemantauan kondisi komponen secara terus-menerus, bahkan dari jarak jauh, dan memberikan peringatan dini terhadap potensi kerusakan [19][20][21].

Teknologi IoT kini semakin mudah diimplementasikan karena ketersediaan berbagai jenis sensor suhu dan arus, serta modul mikrokontroler seperti ESP32 yang mendukung koneksi Wi-Fi. Sensor suhu seperti DS18B20 dan sensor arus seperti SCT-013 dapat digunakan untuk mengukur suhu dan arus pada sambungan CT secara akurat [22][23][24]. Data dari sensor kemudian diproses oleh mikrokontroler dan dikirim ke platform cloud seperti Thingspeak atau Blynk, di mana data tersebut dapat divisualisasikan dan dianalisis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang sistem monitoring berbasis IoT yang dapat memantau suhu dan daya secara langsung pada klem dan konduktor CT, serta mengirimkan data ke sistem pusat untuk analisis dan respons cepat. Manfaat dari penelitian ini antara lain adalah mempercepat deteksi gangguan atau kerusakan sambungan, mengurangi risiko kebakaran akibat overheating, serta menyediakan data historis yang berguna untuk pemeliharaan prediktif dan pengambilan keputusan yang lebih akurat [25][26][27]. Permasalahan utama yang ingin dijawab dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang sistem monitoring yang mampu bekerja secara akurat dan real-time, bagaimana mengintegrasikan sensor dengan perangkat IoT, serta bagaimana merancang antarmuka yang mudah diakses oleh operator. Penelitian ini memiliki batasan pada fokus pengukuran suhu dan daya (arus dan tegangan) pada sambungan CT di lingkungan tegangan menengah, dengan pengujian yang dilakukan dalam lingkungan laboratorium dan belum terintegrasi dengan sistem proteksi otomatis [28][29][30].

Dengan pendekatan ini, diharapkan sistem monitoring daya dan suhu berbasis IoT dapat menjadi solusi praktis dalam meningkatkan keandalan dan keselamatan sistem distribusi listrik di Indonesia, serta menjadi acuan dalam pengembangan teknologi kelistrikan berbasis digital di masa depan [31][32][33][34].

2 Studi Literatur

2.1 Internet of Things (IoT) dalam Sistem Monitoring

Internet of Things (IoT) merupakan jaringan perangkat fisik yang saling terhubung melalui internet, yang dapat mengumpulkan dan bertukar data secara otomatis tanpa intervensi manusia secara langsung. Dalam sistem kelistrikan, teknologi IoT telah banyak dimanfaatkan untuk keperluan monitoring, pengendalian jarak jauh, hingga analisis prediktif. IoT memungkinkan otomatisasi sistem dan pemantauan lingkungan secara real-time, yang sangat penting dalam sistem distribusi tenaga listrik untuk menghindari kegagalan sistem.

Pemanfaatan IoT pada monitoring trafo distribusi terbukti efektif dalam memantau parameter seperti suhu, arus, dan tegangan dengan respons cepat. Adapun perangkat yang diperlukan untuk melakukan sistem monitoring dengan IoT adalah sebagai berikut:

PZEM-004T adalah sebuah modul elektronik yang berfungsi untuk mengukur tegangan, arus, daya, frekuensi, energy dan power factor. Dengan kelengkapan fungsi ini, maka modul PZEM-004T sangat ideal untuk digunakan sebagai proyek maupun eksperimen alat pengukur daya pada sebuah jaringan listrik seperti rumah atau gedung. Modul PZEM-004T diproduksi oleh sebuah perusahaan bernama Peacefair.



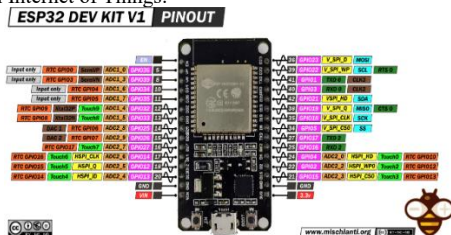
Gambar 1. Modul PZEM-004T

MLX90614 adalah termometer inframerah untuk pengukuran suhu non-kontak. Baik chip detektor thermopile sensitif IR dan ASIC pengkondisi sinyal terintegrasi dalam packing sensor model TO-39 yang sama. Pengkondisi sinyal yang terintegrasi ke dalam MLX90614 itu adalah low noise amplifier, 17-bit ADC dan unit DSP yang kuat sehingga mencapai akurasi dan resolusi tinggi dari termometer. Secara default dari pabrik, sensor dikalibrasi dengan output SMBus digital yang memberikan akses penuh ke suhu yang diukur dalam kisaran suhu lengkap dengan resolusi 0,02 °C.



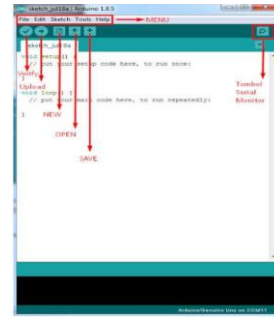
Gambar 2. Sensor Suhu MLX90614

Modul ESP32 adalah mikrokontroler yang dikenalkan oleh Espressif System merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266. Pada mikrokontroler ini sudah tersedia modul WiFi dalam chip sehingga sangat mendukung untuk membuat sistem aplikasi Internet of Things.



Gambar 3. Modul ESP32 Devkit

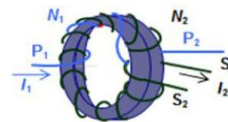
Arduino IDE itu merupakan kependekan dari Integrated Development Environment, atau secara bahasa mudahnya merupakan lingkungan terintegrasi yang digunakan untuk melakukan pengembangan. Disebut sebagai lingkungan karena melalui software inilah Arduino dilakukan pemrograman untuk melakukan fungsi-fungsi yang diberikan melalui sintaks pemrograman. Pada arduino IDE terdapat beberapa menu yang memiliki fungsi yang berbeda-beda. Beberapa menu yang terdapat pada software Arduino IDE adalah File, Edit, Sketch, Tools dan Help.



Gambar 4. Menu Arduino IDE

2.2 Current Transformer (CT)

Current Transformer (CT) digunakan untuk mengubah arus tinggi menjadi arus rendah yang proporsional, sehingga dapat diukur dengan aman dan digunakan untuk proteksi. Namun, kualitas sambungan antara CT dengan sistem distribusi sering menjadi titik rawan gangguan. Sambungan yang buruk menyebabkan resistansi tinggi, yang memicu kenaikan suhu, korosi, bahkan kebakaran. Kegagalan sambungan CT merupakan salah satu penyebab umum gangguan distribusi karena lemahnya deteksi dini terhadap gejala overheating. Trafo Arus (Current Transformator - CT) yaitu peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik disisi primer (TET, TT dan TM) yang berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran dan proteksi.



Gambar 5. Rangkaian Current Transformer (CT)

Untuk trafo yang dihubungkan singkat : $I_1 \cdot N_1 = I_2 \cdot N_2$

Untuk trafo pada kondisi tidak berbeban : $\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$

$$a = \frac{N_1}{N_2},$$

$I_1 > I_2$ sehingga $N_1 < N_2$,

N_1 = jumlah lilitan primer, dan

N_2 = jumlah lilitan sekunder.

2.3 Sensor Suhu dan Arus

Sensor suhu digital seperti DS18B20 banyak digunakan dalam aplikasi IoT karena keakuratannya, fleksibilitas dalam pengkabelan, dan daya rendah. Sementara itu, sensor arus non-invasif seperti SCT-013 mampu mengukur arus AC hingga 100A tanpa kontak langsung dengan konduktor, sehingga meningkatkan keselamatan sistem. Kombinasi sensor ini dapat memberikan pemantauan kondisi kabel listrik secara efisien dalam waktu nyata, terutama bila digabungkan dengan sistem mikrokontroler yang mendukung IoT. Thermovision adalah metode pengukuran suhu yang digunakan untuk menganalisis temperatur suatu objek melalui pencitraan termal. Alat yang digunakan mampu menampilkan gambar objek berdasarkan suhu yang tercatat, dengan perbedaan warna menunjukkan variasi suhu. Dalam aplikasi sistem kelistrikan, khususnya pada Current Transformer (CT), thermovision sangat berguna untuk memonitor bagian-bagian yang berpotensi mengalami suhu tinggi akibat rugi-rugi daya. Pengamatan ini dilakukan pada konduktor dan klem CT, termasuk CT 20 kV yang terpasang di sel 20 kV, untuk mengetahui perbedaan suhu antara kedua komponen tersebut. Namun, pada beberapa desain kubikel CT, penggunaan thermovision mungkin tidak memungkinkan, sehingga thermostrip digunakan sebagai alternatif untuk pengukuran suhu, yang dilakukan secara bulanan. Data tambahan yang dibutuhkan untuk evaluasi hasil thermovision termasuk beban saat

pengukuran dan beban tertinggi yang pernah tercapai, yang kemudian digunakan untuk menghitung selisih suhu (ΔT akhir) antara konduktor dan klem.

$$(I_{\max}/I_{\text{beban}})^2 \times |\Delta T_{\text{awal}}|$$

dimana:

- I_{\max} : Beban tertinggi yang pernah dicapai
 I_{beban} : Beban saat pengukuran
 $|\Delta T_{\text{awal}}|$: Selisih suhu konduktor dan klem CT

Tabel 1. Evaluasi dan Rekomendasi Thermovisi Klem

No	ΔT Akhir	Rekomendasi
1	<10°	Kondisi normal, pengukuran berikutnya dilakukan sesuai jadwal
2	10°-25°	Perlu dilakukan pengukuran satu bulan lagi
3	25°-40°	Perlu direncanakan perbaikan
4	40°-70°	Perlu dilakukan perbaikan segera
5	>70°	Kondisi darurat

Evaluasi thermovisi pada klem CT berdasarkan suhu menunjukkan bahwa suhu di bawah 10°C umumnya terjadi akibat beban rendah atau lingkungan yang dingin, namun dapat menimbulkan risiko kondensasi dan korosi sehingga perlu pemantauan kelembaban. Pada rentang suhu 10–25°C, kondisi dianggap normal dan stabil dengan beban ringan, cukup dilakukan pemantauan rutin. Jika suhu berada pada kisaran 25–45°C, hal ini menunjukkan beban menengah dan mulai ada peningkatan losses, sehingga perlu pemeriksaan sambungan dan kekencangan klem. Suhu 45–70°C menunjukkan adanya potensi gangguan akibat losses tinggi atau sambungan kurang baik, sehingga diperlukan inspeksi fisik dan perawatan. Sedangkan suhu di atas 70°C masuk kategori kritis dan berisiko menyebabkan kegagalan sistem, sehingga harus segera dilakukan pemadaman peralatan, pemeriksaan menyeluruh, dan bila perlu penggantian klem serta pemasangan sistem monitoring suhu secara real-time.



Gambar 6. Sensor Suhu MLX90614

MLX90614 merupakan sensor termometer inframerah yang digunakan untuk pengukuran suhu tanpa kontak fisik. Sensor ini mengintegrasikan chip detektor thermopile sensitif terhadap radiasi inframerah dan ASIC pengkondisi sinyal dalam satu kemasan TO-39. Komponen pengkondisi sinyal yang terintegrasi mencakup penguat dengan noise rendah (low noise amplifier), ADC 17-bit, serta unit DSP yang andal, memungkinkan sensor ini mencapai akurasi dan resolusi tinggi dalam pengukuran suhu. Secara default, MLX90614 dikalibrasi oleh pabrik dan menghasilkan output digital melalui protokol SMBus, yang menyediakan akses penuh terhadap suhu terukur dalam rentang yang luas dengan resolusi 0,02 °C. Selain itu, pengguna juga dapat mengatur agar output digital sensor menggunakan sinyal Pulse Width Modulation (PWM). Dalam konfigurasi standar, output PWM 10-bit digunakan untuk secara kontinu mengirimkan nilai suhu terukur dalam rentang -20 hingga 120 °C dengan resolusi 0,14 °C.

2.4 Platform Monitoring Berbasis Cloud

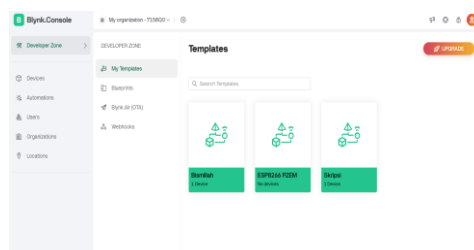
Platform cloud seperti Thingspeak, Blynk, dan Firebase memungkinkan pengguna menyimpan, menganalisis, dan menampilkan data sensor secara real-time. Keunggulan utama dari platform ini adalah kemudahan integrasi, antarmuka visual yang ramah pengguna, dan fitur peringatan otomatis. Integrasi IoT dengan cloud computing adalah salah satu pendorong utama dalam revolusi industri 4.0 di sektor energi, terutama untuk sistem monitoring berbasis prediksi dan kecerdasan buatan. Blynk adalah platform aplikasi mobile (iOS dan Android) yang memungkinkan kendali perangkat seperti Arduino, ESP8266, dan WEMOS D1 melalui internet. Antarmuka grafisnya dibuat dengan drag and drop widget. Blynk memudahkan kontrol jarak

jauh, penyimpanan, dan visualisasi data secara real-time melalui koneksi internet.



Gambar 7. Blynk IoT

Aplikasi Blynk memungkinkan pembuatan antarmuka proyek dengan berbagai komponen input-output yang mendukung pengiriman, penerimaan, dan representasi data secara visual, seperti angka atau grafik. Terdapat empat kategori utama komponen di Blynk, yaitu: Controller untuk mengirim data atau perintah ke hardware, Display untuk menampilkan data dari hardware ke smartphone, Notification untuk mengirim pesan dan notifikasi, serta Interface untuk pengaturan tampilan seperti menu atau tab. Komponen Others mencakup fitur tambahan seperti Bridge dan RTC.



Gambar 8. Tampilan Antar Muka Blynk IoT

3 Metodologi

Tahapan metodologi yang bisa diterapkan dalam penelitian tentang sistem monitoring daya dan suhu berbasis IoT untuk keandalan sistem kelistrikan, khususnya pada klem dan konduktor CT:

1. Studi Literatur

Tahap pertama adalah melakukan studi literatur untuk mengkaji penelitian terdahulu dan memahami perkembangan teknologi terkait, seperti teknologi IoT, sensor suhu, dan pengukuran daya pada sistem kelistrikan. Dalam tahap ini mempelajari berbagai referensi yang relevan mengenai pemantauan suhu, pemanfaatan IoT dalam kelistrikan, dan metode pengukuran daya serta suhu dalam konteks sistem distribusi tenaga listrik.

2. Perancangan Sistem

Berdasarkan informasi yang diperoleh dari studi literatur, tahapan selanjutnya adalah perancangan sistem monitoring berbasis IoT. Dalam perancangan ini, dipilih sensor yang sesuai, seperti sensor suhu (misalnya, DS18B20) dan sensor arus (misalnya, SCT-013). Pemilihan modul mikrokontroler seperti ESP32 dilakukan untuk mendukung konektivitas Wi-Fi dan pengolahan data yang diperlukan. Perancangan juga mencakup desain antarmuka pengguna yang mudah dipahami, menggunakan aplikasi seperti Blynk untuk memvisualisasikan data dari sensor secara real-time.

3. Pembuatan dan Implementasi Prototipe

Tahap ini melibatkan pembuatan prototipe perangkat keras dan perangkat lunak. Prototipe akan melibatkan pemasangan sensor suhu dan arus pada klem dan konduktor CT, serta penghubungan perangkat dengan mikrokontroler (ESP32). Perangkat lunak yang diperlukan untuk memproses data dan menampilkan hasil pengukuran di platform cloud atau aplikasi mobile juga dikembangkan pada tahap ini. Prototipe ini akan diuji di lingkungan laboratorium terlebih dahulu untuk memastikan fungsionalitasnya.

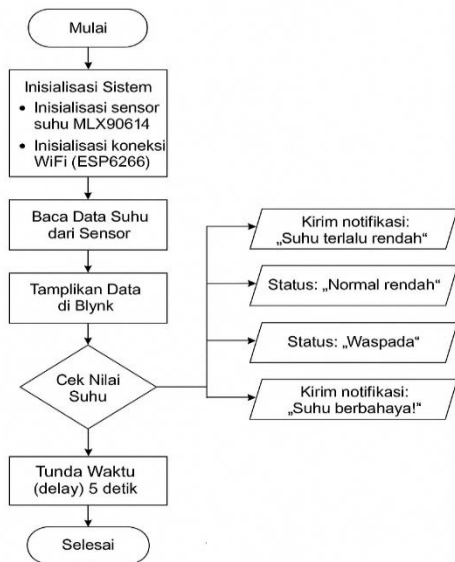
4. Pengujian dan Evaluasi Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa sistem dapat mengukur suhu dan daya dengan akurat dan mengirimkan data secara real-time. Evaluasi dilakukan terhadap sistem untuk menilai kinerja sensor, ketepatan pengukuran, kecepatan respons sistem, serta keandalan konektivitas jaringan. Pengujian dilakukan pada berbagai kondisi beban dan suhu untuk mengetahui apakah sistem berfungsi dengan baik dalam berbagai skenario.

5. Analisis Data dan Pembahasan

Setelah pengujian, data yang diperoleh akan dianalisis untuk mengetahui seberapa efektif sistem dalam mendeteksi perubahan

suhu dan daya pada klem dan konduktor CT. Data tersebut akan dibandingkan dengan standar atau nilai batas aman untuk menentukan apakah sistem mampu memberikan respons yang cepat dalam mendeteksi potensi gangguan atau kerusakan.



Gambar 9. Flowchart sistem monitoring suhu klem CT

4 Pembahasan

Penelitian ini mengevaluasi kinerja Over Voltage Relay (OVR) dalam memantau dan melindungi peralatan listrik dari tegangan lebih. Pengujian dilakukan dengan mengatur tegangan input menggunakan voltage regulator dari 235 hingga 250 Volt, kemudian mengamati respons OVR terhadap setiap kenaikan tegangan. Nilai setpoint OVR dinaikkan secara bertahap, dan setiap perubahan tegangan serta waktu pemutusan arus dicatat untuk menilai sensitivitas dan kecepatan kerja OVR. Selain itu, temperatur komponen diukur menggunakan thermogun guna memastikan tidak terjadi kenaikan suhu yang berpotensi merusak peralatan selama proses pemutusan arus. Perbandingan pembacaan OVR dengan multimeter digunakan untuk menilai akurasi deteksi tegangan berlebih. Evaluasi ini penting untuk memastikan OVR bekerja secara optimal dalam kondisi tegangan yang bervariasi, sehingga mampu memberikan perlindungan yang efektif terhadap peralatan kelistrikan dan menjaga keandalan sistem proteksi

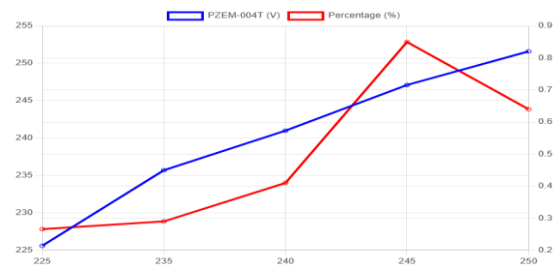


Gambar 10. Perbandingan Suhu Thermogun dan Pengujian

Tabel 2. Perbandingan pengukuran tegangan OVR dan PZEM-004T

OVR	PZEM-004T	Selisih	%
225V	225,6	0,6V	0,266
235V	235,7V	0,7V	0,29
240V	241,0V	1,0V	0,41
245V	247,1V	2,1V	0,85
250V	251,6V	1,6V	0,64

Pengukuran tegangan menggunakan PZEM-004T menunjukkan hasil yang akurat dengan deviasi kecil dari nilai nominal. Pada tegangan 225V hingga 250V, selisih antara pengukuran dan nilai nominal berkisar antara 0.6V hingga 2.1V, dengan persentase selisih antara 0.266% hingga 0.85%. Meskipun ada peningkatan deviasi seiring dengan kenaikan tegangan, alat ini tetap menunjukkan akurasi yang baik, dengan persentase selisih yang relatif rendah, menjadikannya andal untuk pengukuran tegangan dalam rentang tersebut.

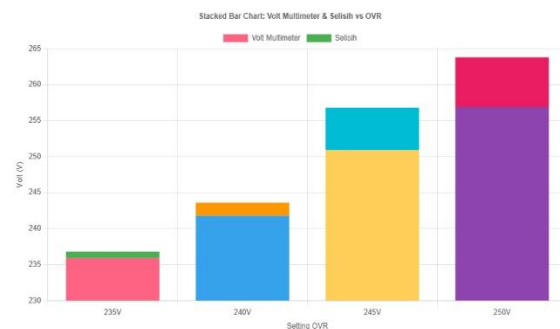


Gambar 11. Perbandingan pengukuran tegangan OVR dan PZEM-004T

Tabel 3. Waktu bekerja OVR dalam memutus arus

Setting OVR	Volt Multimeter	Waktu bekerja
235V	235,9V	< 1s
240V	241,8V	< 1s
245V	250,9V	< 1s
250V	256,9V	< 1s

Pada pengujian setting Over Voltage Relay (OVR), hasil pengukuran menggunakan voltmeter menunjukkan bahwa saat tegangan OVR diatur pada 235V, nilai yang terukur adalah 235,9V dengan waktu kerja OVR kurang dari 1 detik. Begitu pula, pada setting 240V, nilai yang tercatat adalah 241,8V dengan waktu kerja yang sama, yaitu kurang dari 1 detik. Pada pengaturan 245V, voltmeter menunjukkan 250,9V, dan waktu kerja OVR tetap kurang dari 1 detik. Terakhir, pada setting 250V, nilai yang tercatat adalah 256,9V, dengan waktu kerja OVR juga kurang dari 1 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa OVR bekerja cepat dan responsif pada setiap pengaturan tegangan, meskipun terjadi sedikit peningkatan nilai pengukuran dibandingkan dengan setting awal.



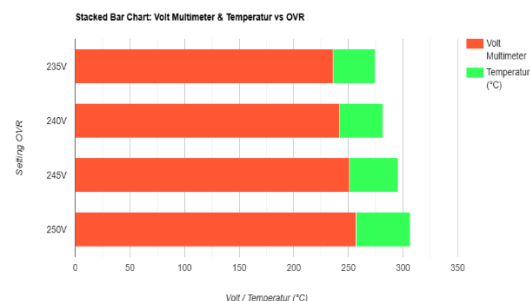
Gambar 12. OVR memutus arus

Tabel 4. Temperatur OVR saat mutus arus

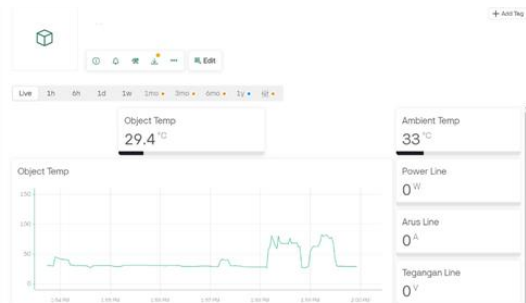
Setting OVR	Volt Multimeter	Temperatur (°C)
235V	235,9V	38,4
240V	241,8V	39,8

245V	250,9V	44,7
250V	256,9V	49,5

Hubungan langsung antara Setting OVR, Volt Multimeter, dan Temperatur (°C), dimana peningkatan tegangan menyebabkan kenaikan suhu pada sistem. Pada setting OVR 235V, volt meter menunjukkan 235,9V dengan suhu 38,4°C, sementara pada 240V, volt meter mencatat 241,8V dan suhu meningkat menjadi 39,8°C. Pada 245V dan 250V, tegangan dan suhu terus meningkat secara signifikan, dengan volt meter menunjukkan 250,9V dan 256,9V, dan temperatur mencapai 44,7°C dan 49,5°C, masing-masing. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan yang diterapkan, semakin besar pula kenaikan suhu, yang bisa menandakan peningkatan beban pada sistem dan memerlukan perhatian lebih untuk mencegah kerusakan akibat panas berlebih.



Gambar 13. Temperatur OVR memutus arus

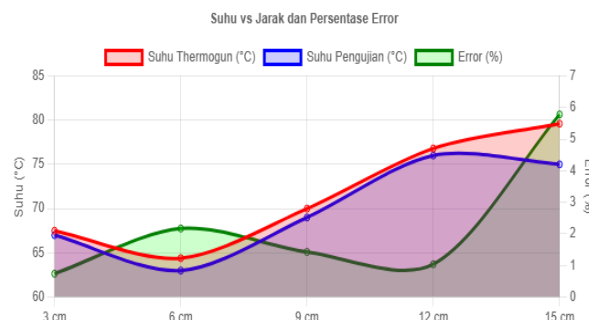


Gambar 14. Temperatur OVR memutus arus dengan Blyn

Tabel 5. Perbandingan Suhu Thermogun dan Suhu Pengujian

No.	Jarak (cm)	Suhu Thermogun (°C)	Suhu Pengujian (°C)	Error (%)
1	3	67,5	67	0,74
2	6	64,4	63	2,17
3	9	70	69	1,43
4	12	76,8	76	1,04
5	15	79,6	75	5,78

Berdasarkan hasil pengujian suhu menggunakan Thermogun pada berbagai jarak, diperoleh variasi pembacaan yang menunjukkan adanya tingkat akurasi yang relatif baik. Pada jarak 3 cm, perbedaan suhu antara Thermogun dan alat pengujian hanya 0,74%, menunjukkan keakuratan yang tinggi. Seiring bertambahnya jarak, terlihat adanya peningkatan nilai error, seperti pada jarak 15 cm yang mencapai 5,78%, mengindikasikan bahwa pengukuran menjadi kurang akurat pada jarak lebih jauh. Meskipun begitu, pada jarak menengah seperti 6–12 cm, tingkat error masih berada di bawah 2,5%, yang dapat dianggap masih dalam batas toleransi untuk aplikasi non-kritis. Hal ini menunjukkan bahwa jarak optimal untuk pengukuran suhu menggunakan Thermogun berada di rentang 3–9 cm agar diperoleh hasil yang lebih presisi.



Gambar 15. Temperatur Thermogun dan Pengujian

Pengujian dilakukan untuk membandingkan hasil pengukuran suhu menggunakan thermogun dan alat uji standar pada lima jarak yang berbeda, mulai dari 3 cm hingga 15 cm. Hasil menunjukkan bahwa semakin jauh jarak pengukuran, terjadi fluktuasi pada suhu yang terdeteksi oleh thermogun, dengan nilai tertinggi sebesar 79,6°C pada jarak 15 cm dan terendah 64,4°C pada 6 cm. Sementara itu, suhu standar dari alat pengujian menunjukkan rentang yang lebih stabil. Persentase error juga cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya jarak, dengan error tertinggi sebesar 5,78% pada jarak 15 cm. Grafik yang ditampilkan mengilustrasikan secara visual perbandingan suhu dari kedua alat serta tingkat error, sehingga dapat digunakan sebagai dasar evaluasi keakuratan thermogun terhadap jarak pengukuran.

5 Kesimpulan

Penelitian ini merancang dan mengembangkan sistem pemantauan suhu dan daya berbasis Internet of Things (IoT) pada sambungan Current Transformer (CT) dalam sistem distribusi tenaga listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemantauan real-time sangat penting karena memungkinkan deteksi dini terhadap potensi masalah seperti overheating, sehingga dapat mencegah kerusakan besar dan meningkatkan keselamatan serta efisiensi operasional. Teknologi IoT terbukti efektif melalui penggunaan sensor MLX90614 dan SCT-013 yang terhubung ke mikrokontroler ESP32 untuk mengirimkan data secara terus-menerus ke platform cloud guna visualisasi dan analisis waktu nyata. Sistem ini juga dapat diintegrasikan dengan proteksi jaringan untuk memberikan peringatan dini ketika terjadi kondisi abnormal pada suhu atau daya. Selain itu, data historis yang dikumpulkan mendukung penerapan pemeliharaan prediktif, memungkinkan operator menganalisis tren dan melakukan tindakan perawatan sebelum kerusakan serius terjadi. Secara keseluruhan, sistem ini memberikan solusi pemantauan yang efisien, responsif, dan adaptif bagi jaringan distribusi tenaga listrik modern.

6 Kontribusi Penulis

Penulis berkontribusi secara menyeluruh dalam penelitian ini, mulai dari perancangan hingga analisis akhir. Penulis merancang sistem pemantauan suhu dan daya berbasis IoT pada sambungan Current Transformer (CT), termasuk pemilihan sensor MLX90614 dan SCT-013 serta metode pemantauan real-time. Selanjutnya, penulis mengembangkan dan mengintegrasikan sistem IoT melalui pemrograman ESP32, koneksi ke platform cloud, dan perancangan antarmuka pengguna. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sensor, keandalan transmisi data, serta kemampuan sistem dalam mendeteksi kondisi abnormal. Penulis juga melakukan analisis data untuk menilai efektivitas sistem dalam mendukung deteksi dini gangguan pada distribusi tenaga listrik. Selain itu, penulis menyusun keseluruhan laporan penelitian, mulai dari pendahuluan hingga kesimpulan, dan mengusulkan pengembangan sistem menuju pemeliharaan prediktif guna meningkatkan efisiensi operasional. Kontribusi ini mencakup seluruh aspek teknis dan ilmiah sehingga hasil penelitian diharapkan dapat meningkatkan keandalan sistem distribusi listrik dan penerapan IoT di Indonesia.

7 Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang mendalam kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi yang signifikan selama proses penelitian ini.

8 Referensi

- [1] Agus Kiswanto, "Transformasi Energi Rumah Tangga: Otomatisasi Beban Listrik Dengan Iot," vol. 2, no. 1, pp. 75–81, 2025.
- [2] A. anas, iqbal, "Simulasi Perancangan Jaringan DMVPN

- dengan GNS3,” *Ejournal.Akademitelkom.Ac.Id*, pp. 656–660, [Online]. Available: <http://ejournal.akademitelkom.ac.id/emit/index.php/eMit/article/view/19%0Ahttp://ejournal.akademitelkom.ac.id/emit/index.php/eMit/article/download/19/16>
- [3] R. Bangun, B. Charge, C. Atmega, and M. Sepeda, “Design of Atmega2560 Charge Controller Battery Using Static Bicycle,” vol. 7, no. 1, pp. 79–93, 2023.
 - [4] R. Bangun, A. Perangkap, S. Di, P. Bertenaga, S. Dan, and M. Blower, “ISSN (Print) : 2621-3540 ISSN (Online) : 2621-5551,” pp. 1–5.
 - [5] R. Bangun, S. Proteksi, S. B. Motor, P. Waktu, and W. Heater, “Design of Single Phase Motor Current , Voltage , Over Temperature Protection System and Temperature Timing in Water Heater”.
 - [6] A. Cahyono, E Nur, “Profil otomatisasi distribusi sistem tenaga listrik universitas bhayangkara surabaya,” no. 1, pp. 18–24, 2021.
 - [7] T. Elektro, F. Teknik, and U. B. Surabaya, “Fuzzy Control Innovation : Optimizing DC Motor Performance with Solar Energy Matahari,” pp. 31–44.
 - [8] M. A. Faza and . A Kiswantonono, “Rancang Bangun Alat Monitoring Online Temperatur Klem Pada,” vol. 14, no. 1, 2022.
 - [9] Y. Hermanto, “Prototype Monitoring Electricity System 220v of Wind Power Plant (PLTB) based on the Internet of Things,” vol. 01, 2021, doi: 10.31763/iota.v1i3.469.
 - [10] Y. Hermanto and A. Kiswantonono, “Stability Control of Frequency and Voltage in Wind Power Plant Using Complementary Load with Pid Control, Pwm and Thingspeak Monitor,” *JEECS (Journal Electr. Eng. Comput. Sci.)*, vol. 7, no. 1, pp. 1159–1168, 2023, doi: 10.54732/jeecs.v7i1.211.
 - [11] M. Jainuri *et al.*, “ISSN (Print) : 2621-3540 ISSN (Online) : 2621-5551,” pp. 674–683.
 - [12] A. K., “Design Analysis of Solar Powered Systems Full Flexible 10 WP Capacity,” pp. 113–118, 2017.
 - [13] A. K., “Simulasi Gangguan Relay Differential Trafo Pada Saluran,” pp. 548–553.
 - [14] A. K and M. Fajri, “Transformasi Proteksi Tegangan : Sistem Monitoring IoT untuk Pemantauan Real-Time,” vol. 11, no. 2, pp. 119–128, 2024.
 - [15] A. Kiswantonono, “Transformasi Pemantauan Energi : Kontrol Daya Listrik 3 Fasa Dengan Antarmuka Grafis Pengguna (Gui) Secara Langsung,” vol. 1, no. 2, pp. 76–84, 2023.
 - [16] O. Suhu, P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, and U. B. Surabaya, “Revitalisasi Sistem ATS : Integrasi Smart Relay dan Teknologi,” pp. 56–63, 2023.
 - [17] A. Syaefudin, A. Kiswantonono, and B. Purwahyudi, “Sistem Kendali Kinerja Motor 1 Phasa pada WTP Menggunakan ESP8266 Tipe 01,” *Sent. Vi 2021*, no. November 2021, pp. 110–119, 2021.
 - [18] A. Yuli Hermanto, “Voltage and Frequency Controller for Wind Turbine With PID Controller , PWM and Thingspeak Monitor,” *JTECS*, vol. 3:1, 2023.
 - [19] A. Kiswantonono, “Pengembangan Sistem Energi Terbarukan: Pendekatan Multigenerator Dan Simulasi Etap,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 2, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i2.4147.
 - [20] A. Kiswantonono and Y. A. Setiawan, “Antena Televisi Sederhana : Memanfaatkan Kaleng Minuman Simple Television Antenna : Utilizing Beverage Cans,” vol. 1, no. 2, pp. 101–111, 2024.
 - [21] A. K. Maharsih, Inggit Kresna, “Indonesia Energy Transition,” no. December 2023, 2024. doi: 10.55981/brin.892.c817.
 - [22] A. Kiswantonono, “Revolusi Hijau : Otomatisasi Baterai Dalam,” vol. 2, no. 2, pp. 131–139, 2024.
 - [23] Agus, H. Afianti, and B. Purwahyudi, “Proteksi Tegangan Berbasis IoT : Sistem Monitoring Cerdas dan Responsif,” pp. 43–48.
 - [24] A. Kiswantonono and G. L. Arzadiwa, “Jurnal Pengabdian Siliwangi Membuat Lampu Sederhana Serbaguna Menggunakan Led Dan Barang,” vol. 7, pp. 59–61, 2021.
 - [25] A. Kiswantonono, E. N. Cahyono, and Hermawan, “Profile of Automation of Electricity Distribution System Bhayangkara University Surabaya,” *JEECS (Journal Electr. Eng. Comput. Sci.)*, vol. 6, no. 2, pp. 1071–1080, 2021, doi: 10.54732/jeecs.v6i2.201.
 - [26] Agus, W. A. Febryasta, P. S. Elektro, F. Teknik, and U. B. Surabaya, “Tracking Map Untuk Monitoring Gangguan,” vol. 13, no. 1, 2025.
 - [27] Agus K and D. I. Firmansyah, “Study Aliran Daya (Load Flow) Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik Gedung Pasca Sarjana,” pp. 133–140, 2020.
 - [28] Agus K and Y. Hermanto, “Peningkatan Kinerja Pltb Melalui Kendali,” vol. 12, no. 1, pp. 137–147, 2024.
 - [29] A. K, A. Irwan, P. S. Elektro, F. Teknik, and U. B. Surabaya, “Inovasi Energi Hijau : Piezoelektrik Untuk Mengubah,” vol. 12, no. 3, pp. 1829–1835, 2024.
 - [30] Agus K, E. W. Pratama, T. Elektro, F. Teknik, and U. B. Surabaya, “Rancang kendali daya 3 phase real time 1 1,2,” pp. 1–6.
 - [31] A. Kiswantonono and A. P. Putra, “Analisa Perancangan Sistem Transmisi Pembangkit dengan Power 150 KVA dan proteksi gangguan listrik di penyaluran 10 KVA,” pp. 384–387.
 - [32] Agus, A. Rozak, F. Syah, and M. A. M. A., “Realizing Energy Independence : Automation Solutions with Visual Studio for PLN and PLTS Integration via ATS Panel Studio untuk Integrasi PLN dan PLTS melalui Panel ATS”.
 - [33] Agus and Y. A. S., “Pengukuran Energi Listrik dengan Modul Single on Circuit (SOC),” vol. 1, no. 3, 2024.
 - [34] A. Kiswantonono, A. F. Saputra, P. S. Elektro, F. Teknik, and U. B. Surabaya, “Sistem Monitoring Dan Proteksi Motor Mini Conveyor Terhadap Anomali Arus Dan,” vol. 13, no. 2, 2025.