

SISTEM PERINGATAN DINI SUHU BERLEBIH PADA KUBIKEL 20 KV DI GARDU INDUK MENGGUNAKAN TEKNOLOGI IOT DAN WHATSAPP NOTIFICATION

¹Ahmad Chandra Gautama*, ²Suryani Alifah

^{1,2} Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung

*Corresponding Author:
ahmad.gautama@gmail.com

ABSTRAK

Suhu berlebih pada kubikel 20 kV merupakan salah satu faktor utama penyebab kegagalan isolasi yang dapat memicu gangguan hubung singkat, kerusakan peralatan, dan penurunan keandalan sistem tenaga listrik. Pada sebagian besar gardu induk, pemantauan suhu masih dilakukan secara manual melalui inspeksi periodik sehingga tidak mampu mendeteksi lonjakan suhu secara cepat dan kontinu. Penelitian ini bertujuan merancang sistem peringatan dini berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu memantau suhu kubikel 20 kV secara real-time dan mengirimkan notifikasi otomatis ketika terjadi anomali termal. Sistem menggunakan sensor termal radiometrik FLIR Lepton 3.5 yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32-WROVER-E untuk membaca suhu pada terminasi kabel, terminal CT, dan konektor utama. Data dikirimkan secara nirkabel ke Google Spreadsheet sebagai basis penyimpanan dan ditampilkan dalam dashboard pemantauan. Power Automate Desktop digunakan untuk melakukan screen scraping, pengolahan data, penentuan ambang batas, serta pemicu pengiriman notifikasi ke WhatsApp melalui API Fonnte. Hasil pengujian lapangan menunjukkan sistem menunjukkan hasil uji pengukuran dengan selisih rata-rata sebesar 0,62°C terhadap alat ukur acuan yang telah terkalibrasi dan mampu mengirimkan notifikasi dalam waktu kurang dari 1 Menit. Sistem ini mampu meningkatkan akurasi deteksi dini hotspot, mendukung pelaksanaan Condition Based Maintenance, serta meningkatkan keandalan operasi kubikel di gardu induk.

Kata Kunci: IoT, Early Warning System, Thermal Monitoring, FLIR Lepton, WhatsApp API.

Abstract

Excessive temperature in 20 kV switchgear cubicles is one of the primary factors causing insulation failure, which can trigger short circuits, equipment damage, and reduced reliability of the power system. In most substations, temperature monitoring is still conducted manually through periodic inspections, making it incapable of detecting rapid and continuous temperature rises. This study aims to design an Internet of Things (IoT)-based early warning system capable of monitoring 20 kV cubicle temperatures in real time and automatically sending notifications when thermal anomalies occur. The system utilizes a FLIR Lepton 3.5 radiometric thermal sensor integrated with an ESP32-WROVER-E microcontroller to measure temperature at cable terminations, CT terminals, and main connectors. The data are transmitted wirelessly to Google Spreadsheet as a storage database and displayed on a monitoring dashboard. Power Automate Desktop is employed for screen scraping, data processing, threshold determination, and triggering WhatsApp notifications via the Fonnte API. Field testing results show that the system achieved an average measurement deviation of 0.62°C compared to a calibrated reference instrument and was capable of sending notifications in less than one minute. The system improves early hotspot detection accuracy, supports the implementation of Condition-Based Maintenance, and enhances the operational reliability of switchgear cubicles in substations.

Keywords: *IoT, Early Warning System, Thermal Monitoring, FLIR Lepton, WhatsApp API*

1. PENDAHULUAN

Kubikel 20 kV memiliki peranan penting sebagai peralatan proteksi, penghubung, dan pengendali aliran daya dalam sistem distribusi tenaga listrik [1]. Salah satu permasalahan yang sering muncul adalah kenaikan suhu yang berlebihan pada sambungan konduktor, terminal CT, atau konektor utama. Suhu berlebih dapat menimbulkan kegagalan isolasi, yang sering kali dipicu oleh partial discharge [2], kontaminasi lingkungan [3], tegangan lebih [4], serta degradasi material isolasi akibat penuaan termal [5].

Metode pemantauan konvensional masih mengandalkan inspeksi manual menggunakan thermovision, yang dilakukan secara periodik oleh operator gardu induk. Metode ini memiliki keterbatasan karena tidak dapat memberikan pemantauan berkelanjutan sehingga mendeteksi anomali suhu sering terlambat [6].

Pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan akuisisi data suhu secara real-time, penyimpanan otomatis di cloud, serta notifikasi cepat kepada teknisi melalui perangkat lunak pesan instan [7]. Platform WhatsApp, yang banyak digunakan oleh teknisi lapangan, menjadi sarana ideal untuk mengirimkan peringatan dini [8].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem peringatan dini suhu berlebih berbasis IoT menggunakan FLIR Lepton 3.5, ESP32-WROVER-E, Google Spreadsheet, Power Automate, dan API WhatsApp Fonnte. Tujuan utama adalah melakukan deteksi dini hotspot pada kubikel 20 kV serta memberikan notifikasi otomatis untuk mendukung pemeliharaan berbasis kondisi (CBM).

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dirancang untuk menghasilkan sistem pemantauan suhu kubikel 20 kV berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu bekerja secara real-time, akurat, dan mampu memberikan peringatan otomatis ketika parameter termal melampaui batas aman. Pendekatan penelitian terdiri dari empat tahap utama, yakni (1) analisis kebutuhan sistem, (2) perancangan perangkat keras, (3) perancangan perangkat lunak dan automasi, serta (4) pengujian dan evaluasi kinerja sistem.

2.1. Analisis Kebutuhan Sistem

Tahap ini meliputi identifikasi masalah yang terjadi pada kubikel 20 kV dan batasan teknis terkait aspek keselamatan, standar pemeliharaan, serta parameter kritis yang perlu dipantau. Berdasarkan literatur [1] dan studi terkait [9] [6], parameter suhu permukaan sambungan, selisih suhu antar fasa (ΔT), serta nilai maksimum hotspot ditetapkan sebagai indikator utama kondisi kesehatan kubikel.

Pemilihan sensor termal dilakukan dengan mempertimbangkan sensitivitas, resolusi, dukungan radiometrik, serta kemampuan adaptasi terhadap lingkungan kubikel yang tertutup [10]. Selain itu, pemilihan platform komunikasi dan notifikasi mempertimbangkan ketersediaan jaringan, keterjangkauan teknis oleh operator, dan efisiensi biaya operasional.

2.2. Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras dirancang dengan prinsip akurasi pengukuran dan keandalan operasi jangka panjang pada lingkungan kubikel yang tertutup dan memiliki tingkat interferensi elektromagnetik tinggi.

2.2.1. Sensor Termal FLIR Lepton 3.5

Sensor ini dipilih karena memiliki kemampuan radiometrik dengan sensitivitas <50 mK, serta mampu membaca suhu absolut tiap piksel, stabil digunakan pada pemantauan komponen listrik bertegangan, kompatibel dengan antarmuka SPI dan I2C untuk sistem tertanam [10]. Sensor diposisikan menghadap langsung ke area terminasi kabel atau terminal CT maupun keduanya untuk mendapatkan pembacaan hotspot.

2.2.2. Mikrokontroler ESP32-WROVER-E

ESP32 digunakan sebagai prosesor utama yang bertugas untuk menginisialisasi sensor, membaca matriks data termal, melakukan praproses data suhu, mengirimkan hasil melalui WiFi menuju server, dan menjaga sinkronisasi waktu pengukuran. Keunggulan ESP32 pada konsumsi daya rendah dan integrasi WiFi menjadikannya sesuai untuk aplikasi pemantauan *IoT* [11].

2.2.3. Sistem Catu Daya

Modul HLK-PM05 digunakan untuk mengonversi tegangan 220 VAC menjadi 5 VDC yang stabil. Pemilihan modul ini didasarkan pada isolasi tinggi, keandalan dalam load non-linear, kemampuan kerja jangka panjang dalam suhu lingkungan tinggi [12].

2.3. Perancangan Perangkat Lunak

2.3.1. Akuisisi Data Sensor

Firmware dikembangkan menggunakan ESP-IDF dengan bahasa C/C++. Fungsi inti mencakup:

- Konfigurasi komunikasi SPI/I2C,
- Pembacaan frame termal 160×120 piksel,
- Ekstraksi nilai suhu spot (m_1 , m_2 , m_3 , dan Max),
- Filtering sederhana untuk mengurangi noise,
- Transmisi data ke server secara periodik.
- Implementasi mengikuti metode pengukuran thermovision berbasis ΔT sesuai standar PLN [1].

2.3.2. Pemrosesan Data

Power Automate Desktop (PAD) digunakan untuk mengotomatisasi seluruh alur analisis data tanpa intervensi manusia. Proses mencakup:

- Screen Scraping: mengambil nilai suhu dari aplikasi Visual Thermal secara *real-time*.
- Parsing Data: mengekstrak suhu m_1 , m_2 , m_3 , dan Max menggunakan pola teks.
- Perhitungan ΔT :

$$\Delta T_{RS} = |T_R - T_S|, \quad \Delta T_{ST} = |T_S - T_T|, \quad \Delta T_{RT} = |T_R - T_T|$$

- Evaluasi ambang batas:
Berdasarkan standar thermovision PLN dan PUIL 2011:

Tabel 1. Rekomendasi Hasil Pengukuran

Kondisi	Hasil Ukur	Rekomendasi
Kondisi I	$\Delta T \leq 5^\circ\text{C}$	Lakukan pengujian rutin.
Kondisi II	$5^\circ\text{C} < \Delta T \leq 30^\circ\text{C}$	Jadwalkan perbaikan atau penggantian seperlunya.
Kondisi III	$\Delta T > 30^\circ\text{C}$	Perbaiki atau penggantian secepatnya.

Tabel 2. Acuan Batas Suhu Material

Jenis Isolasi	Suhu Maksimum
Termoplastik (PVC)	70°C
Taut silang (XLPE, EPR)	90°C
Taut silang silikon	120°C

Untuk kubikel 20 kV, kabel power umumnya menggunakan isolasi XLPE, sehingga batas suhu operasi maksimumnya adalah 90°C. Namun, untuk menjaga keandalan operasi dan memberikan waktu respons yang cukup, sistem ini menetapkan ambang peringatan lebih awal, yaitu pada 70°C.

- e. Pengiriman Data ke *Cloud*:
PAD mengirimkan data terverifikasi ke Google Spreadsheet untuk analisis lanjutan.
- f. Pemicu Notifikasi Otomatis:
PAD memicu notifikasi WhatsApp melalui API Fonnte apabila salah satu kondisi berikut terpenuhi: $T_{\text{Max}} \geq 70^{\circ}\text{C}$, atau $\Delta T > 30^{\circ}\text{C}$ (hotspot). Flow automasi disusun dalam sejumlah langkah terstruktur yang merujuk pada rancangan implementasi di laporan penelitian, mencakup ekstraksi data, analisis suhu, dan pemicu notifikasi.

2.3.3. Database Cloud dan Dashboard

Google Spreadsheet digunakan sebagai basis data *cloud* untuk menyimpan dan menyinkronkan data suhu secara real-time melalui integrasi Apps Script. Data yang diterima sistem divisualisasikan dalam dashboard yang menampilkan tren suhu, ΔT antar fasa, citra termal, dan rekaman historis guna mendukung pemantauan kondisi kubikel secara cepat dan akurat.

2.4. Pengujian dan Evaluasi Sistem

Pengujian dilakukan di Gardu Induk 150 kV Lubuk Linggau pada Penyulang Volly untuk menilai akurasi, keandalan, dan respons sistem. Pengujian meliputi:

- a. Uji respons notifikasi, yaitu waktu dari terdeteksinya anomali hingga notifikasi diterima operator.
- b. Uji integrasi sistem, memastikan alur data dari sensor $\rightarrow$ ESP32 $\rightarrow$ Visual Thermal $\rightarrow$ PAD $\rightarrow$ Google Sheets $\rightarrow$ WhatsApp berjalan stabil.

3. HASIL DAN ANALISA

Bagian ini menyajikan hasil pengujian sistem pemantauan suhu kubikel 20 kV serta analisis kinerja sistem dalam mendeteksi anomali termal dan memberikan notifikasi peringatan dini. Hasil diperoleh dari pengujian lapangan di Gardu Induk 150 kV Lubuk Linggau pada Penyulang Volly, serta melalui simulasi input suhu untuk mengukur kecepatan respons sistem.

3.1. Hasil Pengukuran Suhu

Pengujian dilakukan dengan memantau tiga titik pengukuran pada terminasi kabel kubikel (m1/fasa R, m2/fasa S, dan m3/fasa T). Hasil pengukuran ditampilkan pada tabel dan gambar berikut ini:

Tabel 3. Hasil Pengukuran Suhu Titik Pemantauan Kubikel

Titik Pengukuran	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Keterangan
m1 (Fasa R)	51.7 $^{\circ}\text{C}$	Normal
m2 (Fasa S)	50.0 $^{\circ}\text{C}$	Normal
m3 (Fasa T)	133 $^{\circ}\text{C}$	Hotspot

Berdasarkan data tersebut, teridentifikasi adanya kenaikan suhu ekstrem pada fasa T (m3), yaitu 133 $^{\circ}\text{C}$, yang melampaui batas suhu isolasi XLPE 90 $^{\circ}\text{C}$. Nilai ini

mengindikasikan kemungkinan koneksi longgar, degradasi isolasi, atau kerusakan mekanis pada sambungan.

3.2. Analisis ΔT Antar Fasa

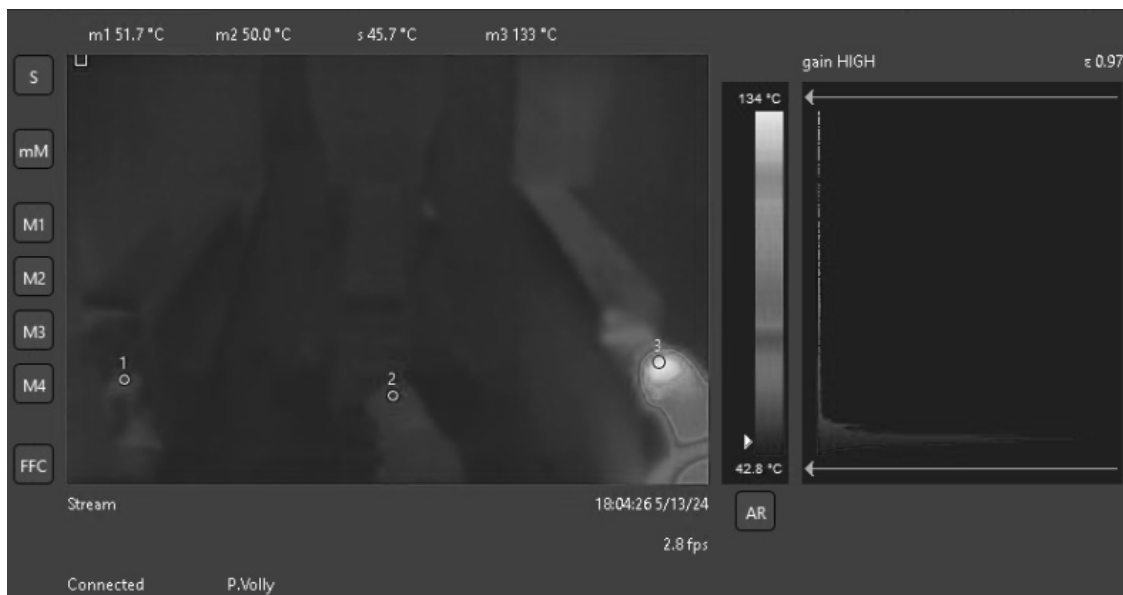
Selisih suhu antar fasa (ΔT) dianalisis sebagai indikator ketidakseimbangan termal dan deteksi hotspot tidak langsung. Perhitungan menunjukkan:

$$\Delta T_{RT} \approx 83.9^{\circ}\text{C}, \quad \Delta T_{ST} \approx 83.0^{\circ}\text{C}, \quad \Delta T_{RS} \approx 1.7^{\circ}\text{C}$$

Menurut standar pengukuran thermovision PLN, $\Delta T > 30^{\circ}\text{C}$ dikategorikan sebagai kondisi kritis. Pada pengujian ini, ΔT mencapai $>80^{\circ}\text{C}$, sehingga mengonfirmasi keberadaan hotspot signifikan pada fasa T. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem efektif dalam mengidentifikasi anomali berdasarkan dua pendekatan sekaligus yaitu Suhu absolut ($\text{Max} \geq 90^{\circ}\text{C}$) dan ΔT antar fasa ($\Delta T > 30^{\circ}\text{C}$) kombinasi kedua parameter meningkatkan akurasi deteksi dini kondisi berbahaya.

3.3. Analisis Citra Termal

Citra termal yang diperoleh dari sensor FLIR Lepton 3.5 memperlihatkan distribusi panas yang tidak merata pada terminasi kubikel. Titik m3 menunjukkan intensitas warna yang jauh lebih tinggi dibandingkan titik lainnya, yang mengonfirmasi keberadaan hotspot.



Gambar 1. Visual Anomali Thermal pada Aplikasi Thermal

Visualisasi ini membantu operator melakukan inspeksi berbasis bukti (*evidence-based maintenance*), terutama pada area yang sulit diakses secara langsung.

3.4. Uji Respon Notifikasi

Pengujian, sistem disimulasikan melakukan pengukuran pada object yang memiliki suhu hingga mencapai dan melampaui batas normal operasi ($T_{Max} \geq 70^\circ$ dan $\Delta T \geq 30^\circ$) sebanyak 10 kali sampel pengukuran.

Berdasarkan hasil pengujian respon notifikasi sistem yang disajikan pada Tabel 4.1, diperoleh bahwa waktu penerimaan pesan notifikasi WhatsApp memiliki selisih yang sangat kecil terhadap waktu pencatatan data pada database. Dari sepuluh kali pengujian yang dilakukan, sebagian besar notifikasi diterima pada waktu yang sama dengan pencatatan data, sementara beberapa pengujian menunjukkan selisih waktu sebesar ≤ 1 menit. Lihat Tabel 4

Tabel 4. Hasil Pengukuran Suhu Titik Pemantauan Kubikel

No.	Waktu pada Database	Waktu pada Pesan Whatsapp	Selisih Waktu dalam Menit
1	11:36	11:37	1
2	11:36	11:36	0
3	11:35	11:35	0
4	11:35	11:35	0
5	11:34	11:34	0
6	11:33	11:34	1
7	11:33	11:33	0
8	11:32	11:32	0
9	11:32	11:32	0
10	11:31	11:31	0

Selisih waktu pengiriman notifikasi berada dalam rentang yang sangat singkat, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem mampu mengirimkan notifikasi secara real-time. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi antara sistem pencatatan data dan mekanisme pengiriman notifikasi telah berjalan dengan baik dan andal.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa:

- Respons notifikasi cepat (≤ 1 Menit) memungkinkan tindakan preventif sebelum terjadi kerusakan.
- ΔT efektif sebagai indikator awal kerusakan, bahkan ketika suhu absolut belum melampaui ambang batas peringatan.
- Sistem ini dapat secara langsung diintegrasikan dalam skema *Condition Based Maintenance (CBM)* di gardu induk.
- Dengan demikian, sistem memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan keandalan operasi kubikel 20 kV dan mitigasi risiko gangguan.

DAFTAR PUSTAKA

- PT PLN (Persero), Pedoman Pemeliharaan Kubikel Tegangan Menengah, Jakarta: PT PLN (Persero), 2024.
- F. A. P. Adirawati and Samsurizal, "Pengaruh Partial Discharge Pada Kubikel Incoming 20 kV dengan Metode TEV," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro (SNTE) 2023*, pp. 1-7, 2023.
- Y. A. M. Ambabunga and H. Masiku, "Kerusakan Isolator Saluran Transmisi Tegangan Tinggi Akibat Pengaruh Polutan (Kondisi Kering dan Basah)," *Journal Dynamic sainT*, pp. 7-12, 2021.
- T. Juliandhy, T. Haryono and S. , "KEGAGALAN ALAT FLUE GAS DESULPHUR TERHADAP TEGANGAN LEWAT DENYAR ISOLATOR DI GARDU INDUK PEMBANGKITAN TANJUNG JATI B JEPARA," *Teknologi Elektro*, pp. 34-38, 2014.
- K. R. Dewi, Suyitno and N. H. Yuninda, "Pengaruh Peningkatan Suhu dan Besaran Arus Terhadap Tahanan Penghantar Kabel Listrik Tegangan Rendah Jenis NYM," *Journal of Electrical and Vocational Education and Technology*, 4(1), pp. 35-40, 2019.
- C. F. Saputri, K. E. Susilo and M. N. Arifin, "Monitoring Suhu Non-Contact Sambungan Kabel Dengan Trafo Berkapasitas 20 kV Pada Gardu Induk Ngagel Berbasis IoT," *Seminar Nasional Sains Data 2021 (SENADA 2021) UPN "Veteran" Jawa Timur*, pp. 66-74, 2021.
- R. P. Sari, "Internet of Things (IoT): Pengertian, Cara Kerja dan Contohnya," 24 January 2024. [Online]. Available: <https://www.cloudcomputing.id/pengetahuan-dasar/iot-pengertian-contohnya>.
- "WhatsApp Business Platform," [Online]. Available: <https://developers.facebook.com/docs/whatsapp>.
- V. D. Hardiyanto and D. H. R. Saputra, "DETEKSI DINI BREAKDOWN KABEL OUTGOING 20 KV KUBIKEL EGA DI GARDU INDUK PT PLN (PERSERO) DISTRIBUSI JAWA TIMUR BERBASIS IOT," *Jurnal Cakrawala Ilmiah Vol. 2, No. 4, Desember 2022*, pp. 1497-1504, 2022.
- FLIR, Teledyne, FLIR Lepton Product Datasheet, Teledyne FLIR, 2023.
- Espressif, ESP32-WROVER-E & ESP32-WROVER-IE Datasheet Version 2.2, Shanghai: Espressif Systems, 2025.
- Hi-Link, HLK-PM03 Data Sheet HLK-PM03-DS V1.0 10/25/2014, Hi-Link, 2014.