IDENTIFIKASI SAMBUNGAN BERMASALAH PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV MENGGUNAKAN ANALISIS THERMOVISION DAN ARUS BEBAN

Fahmi Ibrahim, Izza Anshory*, DHR Saputra, Jamaaluddin Jamaaluddin

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*izzaanshory@umsida.ac.id

Abstrak

Sambungan konduktor pada jaringan distribusi 20 kV merupakan titik kritis yang dapat mengalami anomali termal ketika kualitas kontak menurun. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi sambungan bermasalah dengan mengintegrasikan hasil thermovision dan arus beban serta menetapkan prioritas penanganannya. Penelitian dilakukan melalui observasi lapangan dengan analisis data secara kuantitatif deskriptif pada tiga penyulang di wilayah PT PLN (Persero) UP3 Pasuruan, yaitu Pesanggrahan, Beji, dan Suwayuwo. Pengukuran dilakukan pada pagi, siang, dan malam dengan interval 10 menit, sehingga diperoleh 21 pengamatan pada setiap penyulang. Parameter yang dianalisis mencakup suhu hotspot, suhu konduktor, suhu lingkungan, selisih suhu (ΔT), arus beban, dan rugi daya. Klasifikasi termal menggunakan kriteria Class 0–3 EPRI/FLIR yang diterapkan dalam desain penelitian, sedangkan Pedoman Pemeliharaan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014 digunakan sebagai acuan pemeliharaan pendukung. Hasil menunjukkan suhu hotspot maksimum sebesar 78,1°C pada Pesanggrahan, 95,6°C pada Beji, dan 130,0°C pada Suwayuwo, dengan ΔT maksimum masing-masing 43,6°C, 51,8°C, dan 75,7°C. Rata-rata arus beban hasil perhitungan ulang dari data mentah berturut-turut sebesar 238,1 A, 192,7 A, dan 156,0 A. Suwayuwo menunjukkan anomali termal paling berat walaupun arusnya paling rendah, sehingga pola data mengindikasikan bahwa kondisi kontak sambungan turut berperan terhadap terbentuknya anomali termal. Rugi daya maksimum tercatat 87,52 W, 94,44 W, dan 80,19 W. Integrasi indikator termal dan elektrik dapat digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kondisi sambungan serta menjadi dasar penentuan pemeliharaan terencana maupun perbaikan segera pada jaringan distribusi 20 kV.

Kata kunci: sambungan bermasalah, thermovision, jaringan distribusi 20 kV, arus beban, hotspot, pemeliharaan berbasis kondisi

Abstract

Conductor joints in 20 kV distribution networks are critical points that may develop thermal anomalies when contact quality deteriorates. This study aims to identify problematic joints by integrating thermovision measurements and load-current data and to establish their maintenance priorities. Field observations were conducted on three feeders within PT PLN (Persero) UP3 Pasuruan, namely Pesanggrahan, Beji, and Suwayuwo, and the resulting measurements were analyzed descriptively using quantitative data. Measurements were conducted in morning, midday, and evening periods at 10-minute intervals, yielding 21 observations for each feeder. The analyzed parameters included hotspot temperature, conductor temperature, ambient temperature, temperature difference (ΔT), load current, and power loss. Thermal severity was grouped using the Class 0–3 EPRI/FLIR criteria applied in the research design, while PLN Maintenance Guideline No. 0520-2.K/DIR/2014 was used as a complementary maintenance reference. Maximum hotspot temperatures reached 78.1°C at Pesanggrahan, 95.6°C at Beji, and 130.0°C at Suwayuwo, with maximum ΔT values of 43.6°C, 51.8°C, and 75.7°C, respectively. Recalculation from the raw measurements produced mean load currents of 238.1 A, 192.7 A, and 156.0 A. Suwayuwo exhibited the most severe thermal anomaly despite carrying the lowest current, indicating that joint-contact condition also contributes to the development of thermal anomalies. Maximum recorded power losses were 87.52 W, 94.44 W, and 80.19 W. Combining thermal and electrical indicators enables identification of joint condition severity and provides a basis for selecting scheduled maintenance or immediate corrective action in 20 kV distribution networks.

Keywords: problematic joint, thermovision, 20 kV distribution network, load current, hotspot, condition-based maintenance

1. Pendahuluan

Jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV menjadi bagian penting dalam penyaluran energi listrik dari gardu induk menuju pelanggan. Keandalan sistem tidak hanya bergantung pada kapasitas jaringan, tetapi juga pada kondisi fisik dan elektrik komponen, terutama konektor dan titik sambungan konduktor yang terus menerima perubahan beban, paparan lingkungan, serta siklus pemuaian dan penyusutan. Gangguan pada bagian tersebut dapat meningkatkan rugi-rugi, menurunkan kualitas pelayanan, dan pada kondisi tertentu berkembang menjadi kegagalan jaringan. Kajian pada jaringan distribusi 20 kV menunjukkan bahwa kondisi pembebanan, rugi daya, dan pemeliharaan jaringan

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

merupakan bagian penting dalam menjaga kontinuitas penyaluran energi (Jhonson et al., 2020), (Sukmadi Tejo & Winardi Bambang, 2009), (Hariswanda & Anshory, 2024), (Manalu et al., 2023), (Pratiwi & Haurissa, 2023).

Salah satu gejala degradasi sambungan adalah terbentuknya hotspot. Sambungan dengan kualitas kontak yang memburuk dapat mengalami peningkatan hambatan pada bidang kontak sehingga energi listrik lebih banyak terdisipasi sebagai panas. Secara teoritis, fenomena tersebut dapat dijelaskan melalui prinsip pemanasan Joule $P = I^2R$ (Anshory et al., 2022). Dalam konteks jaringan distribusi, Mustari et al. (Mustari et al., 2021) secara khusus membahas rugi-rugi daya akibat kerusakan jointing melalui hotspot thermovision. Hal tersebut memperlihatkan bahwa anomali termal pada sambungan tidak cukup dibaca sebagai nilai suhu semata, tetapi perlu dihubungkan dengan kondisi sambungan dan parameter elektrik yang menyertainya.

Thermovision merupakan teknik inspeksi non-kontak yang memungkinkan distribusi temperatur pada komponen jaringan diamati ketika peralatan masih beroperasi. Jhonson et al. (Jhonson et al., 2020) menggunakan thermovisi dalam analisis peningkatan kinerja jaringan distribusi 20 kV, sedangkan Mustari et al. (Mustari et al., 2021) menempatkan hotspot thermovision sebagai bagian dari analisis kerusakan jointing dan rugi daya. Kedua kajian tersebut menunjukkan relevansi thermovision untuk pemeriksaan kondisi jaringan. Namun, temperatur sambungan tetap perlu dibaca bersama kondisi pembebanan karena arus yang mengalir menjadi salah satu parameter yang memengaruhi panas pada penghantar dan sambungan.

Pada jaringan distribusi Indonesia, preventive maintenance menjadi unsur penting dalam menjaga keandalan penyaluran (Hariswanda & Anshory, 2024). Kajian lain pada jaringan 20 kV juga menempatkan rugi daya sebagai indikator penting dalam evaluasi kondisi operasi (Manalu et al., 2023), (Pratiwi & Haurissa, 2023). Di sisi lain, perkembangan sistem pemantauan kelistrikan berbasis IoT memperlihatkan arah pemeliharaan yang semakin proaktif melalui pemantauan kondisi secara berkelanjutan (Prasetyo et al., 2026), (Fudin et al., 2024), (Wisaksono et al., 2020). Berdasarkan konteks tersebut, integrasi thermovision dan data arus beban relevan digunakan untuk membedakan sambungan yang sekadar mengalami kenaikan suhu akibat pembebanan dengan sambungan yang menunjukkan indikasi anomali lebih berat.

Penelitian ini mengidentifikasi sambungan bermasalah pada tiga penyulang di wilayah PT PLN (Persero) UP3 Pasuruan dengan mengintegrasikan suhu hotspot sebagai indikator termal, ΔT terhadap konduktor referensi, arus beban, dan rugi daya. Tujuan penelitian adalah menentukan tingkat kondisi sambungan pada masing-masing penyulang, membandingkannya dengan kondisi pembebanan, dan menetapkan prioritas tindakan berdasarkan klasifikasi thermography tanpa menarik klaim kausal yang melampaui data observasi.

2. Metode Penelitian

2.1 Desain dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan melalui observasi lapangan dengan pengolahan data kuantitatif secara deskriptif. Objek penelitian adalah sambungan konduktor jaringan distribusi 20 kV pada tiga penyulang di wilayah kerja PT PLN (Persero) UP3 Pasuruan, yaitu Penyulang Pesanggrahan, Penyulang Beji, dan Penyulang Suwayuwo. Titik pengamatan merupakan lokasi yang pada inspeksi awal menunjukkan indikasi anomali sambungan dan memerlukan pemeriksaan termal lebih lanjut. Analisis diarahkan untuk menggambarkan kondisi sambungan berdasarkan pengukuran aktual, bukan untuk menguji hubungan kausal melalui eksperimen terkontrol.

2.2 Pengumpulan Data

Pengambilan data dilakukan pada tiga periode, yaitu pagi pukul 06.00–07.00 WIB, siang pukul 12.00–13.00 WIB, dan malam pukul 22.00–23.00 WIB. Setiap periode terdiri atas tujuh pengukuran dengan interval 10 menit. Dengan demikian, tersedia 21 pengamatan pada setiap penyulang atau 63 pengamatan untuk keseluruhan lokasi. Parameter yang dicatat mencakup suhu hotspot, suhu konduktor,

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

suhu lingkungan, arus beban sumber, arus sebelum dan setelah titik hotspot, serta rugi daya hasil perhitungan penelitian.**Tabel 1. Lokasi dan skema pengukuran**

Titik	Lokasi/Penyulang	Fasa	Waktu pengukuran	Interval
1	Jl. Panglima Sudirman, Bangil / Pesanggrahan	S	06.00–07.00; 12.00–13.00; 22.00–23.00	10 menit
2	Jl. HR Muhammad, Bangil / Beji	S	06.00–07.00; 12.00–13.00; 22.00–23.00	10 menit
3	Jl. RA Kartini Jogosari, Pandaan / Suwayuwo	S	06.00–07.00; 12.00–13.00; 22.00–23.00	10 menit

2.3 Analisis Thermovision dan Kriteria Prioritas

Evaluasi termal menggunakan selisih suhu (ΔT) antara hotspot dan konduktor referensi pada titik pengamatan yang sama. Dua acuan interpretasi yang tercantum dalam penelitian tidak digabungkan menjadi satu standar. Pedoman Pemeliharaan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014 digunakan sebagai acuan umum pemeliharaan dan interpretasi ketidaknormalan (PT. PLN (Persero) Buku 1, 2010). Sementara itu, penetapan Class 0–3 mengikuti kriteria kenaikan temperatur yang dalam data penelitian dirujuk sebagai EPRI/FLIR. Pemisahan ini dilakukan agar klasifikasi operasional Class 0–3 tidak tercampur dengan kategori PLN yang memiliki basis pembandingan temperatur berbeda.

Tabel 2. Pemisahan acuan interpretasi thermography

Acuan	ΔT / kenaikan temperatur	Interpretasi	Penggunaan dalam artikel
EPRI/FLIR (sebagaimana dirujuk dalam data penelitian)	0–9°C	Class 0, monitor	Klasifikasi prioritas utama
EPRI/FLIR (sebagaimana dirujuk dalam data penelitian)	10–29°C	Class 1, rencanakan perbaikan	Klasifikasi prioritas utama
EPRI/FLIR (sebagaimana dirujuk dalam data penelitian)	30–50°C	Class 2, rencanakan perbaikan segera	Klasifikasi prioritas utama
EPRI/FLIR (sebagaimana dirujuk dalam data penelitian)	>50°C	Class 3, perbaiki segera	Klasifikasi prioritas utama

Catatan: Pedoman PLN No. 0520-2.K/DIR/2014 [12] digunakan sebagai rujukan pemeliharaan pendukung, sedangkan Class 0–3 mengikuti kriteria operasional yang pada data penelitian dirujuk sebagai EPRI/FLIR. Keduanya tidak disamakan secara langsung karena basis pembandingan temperaturnya berbeda.

2.4 Analisis Arus Beban dan Rugi Daya

Analisis elektrik mengacu pada prinsip pemanasan Joule, yaitu $P = I^2R$ [1]. Untuk kondisi sambungan bermasalah, kenaikan rugi akibat resistansi kontak dapat dinyatakan secara konseptual sebagai $P_hotspot = I^2 \times \Delta R$, dengan I sebagai arus yang mengalir melalui sambungan dan ΔR sebagai kenaikan resistansi kontak dibanding kondisi normal. Karena ΔR tidak diukur secara langsung dalam penelitian, parameter tersebut tidak digunakan untuk menyatakan besaran resistansi aktual. Interpretasi mengenai penurunan kualitas sambungan dibatasi pada indikasi yang konsisten dengan pola thermovision dan konteks kerusakan jointing yang dibahas oleh Mustari et al. (Mustari et al., 2021). Nilai rugi daya diambil dari tabel perhitungan penelitian, sedangkan rata-rata arus beban dihitung ulang dari 21 pengamatan mentah per penyulang agar ringkasan statistik konsisten dengan data lapangan.

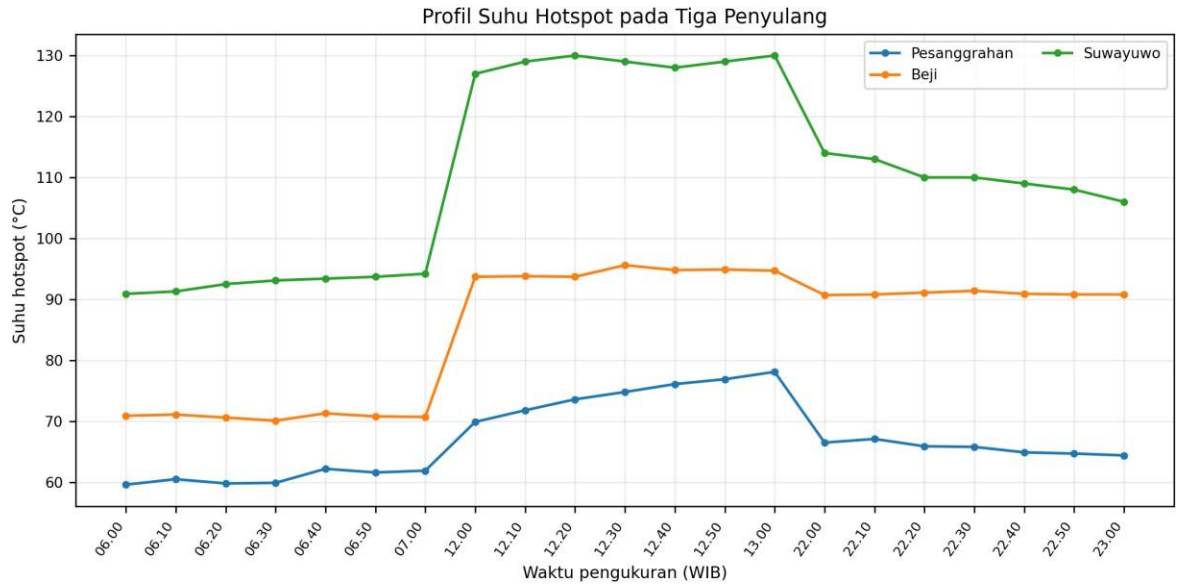
Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

Analisis dilakukan secara deskriptif melalui nilai minimum, maksimum, rata-rata, pola perubahan terhadap waktu, dan perbandingan antarpenyulang. Tidak dilakukan uji korelasi Pearson atau Spearman karena desain penelitian tidak memuat pengujian inferensial. Oleh sebab itu, istilah "hubungan" pada pembahasan digunakan sebagai pola keterkaitan deskriptif, bukan bukti hubungan sebab-akibat.

3. Hasil

3.1 Profil Suhu pada Sambungan Bermasalah

Seluruh hotspot yang diamati pada ketiga lokasi berada pada fasa S. Pesanggrahan menunjukkan suhu 59,6–78,1°C dengan rata-rata 67,0°C. Beji memiliki rentang 70,1–95,6°C dengan rata-rata 85,4°C. Kondisi paling tinggi ditemukan pada Suwayuwo, yaitu 90,9–130,0°C dengan rata-rata 110,5°C. Puncak temperatur pada ketiga penyulang muncul pada periode siang, khususnya sekitar pukul 12.00–13.00 WIB, ketika suhu lingkungan cenderung lebih tinggi. Pola arus beban tidak sepenuhnya identik pada seluruh penyulang, sehingga kenaikan temperatur tidak ditafsirkan hanya berdasarkan besarnya pembebanan.

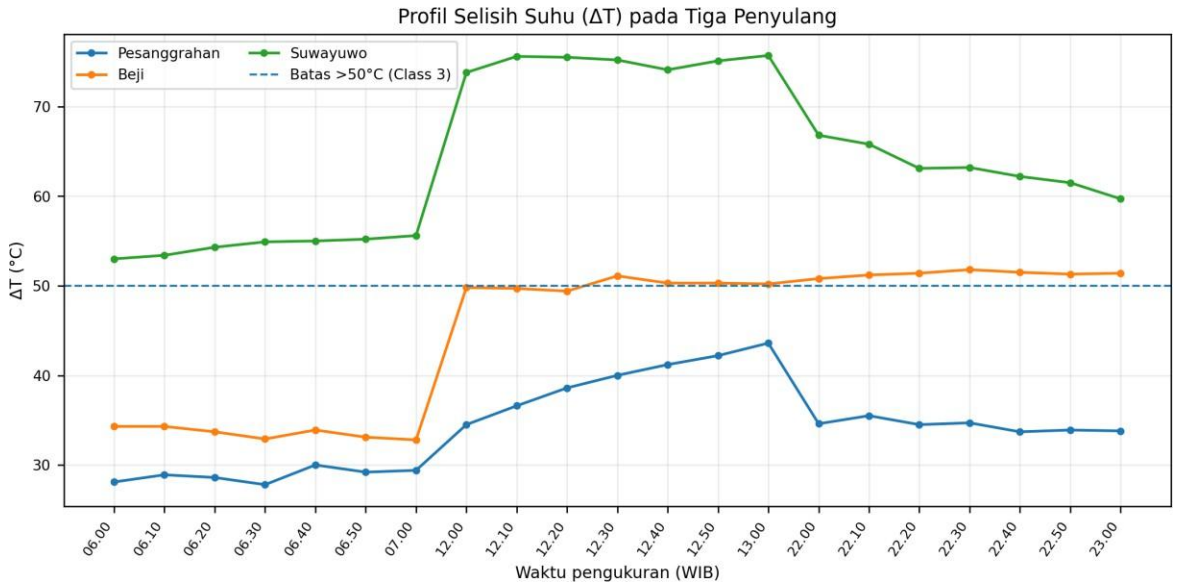


Gambar 1. Profil suhu hotspot pada tiga penyulang berdasarkan waktu pengukuran

3.2 Selisih Suhu dan Kelas Prioritas

Nilai ΔT Pesanggrahan berada pada rentang 27,8–43,6°C dengan rata-rata 34,3°C. Berdasarkan Class 0–3 yang digunakan dalam penelitian, nilai tersebut mencakup Class 1 dan Class 2. Beji memiliki ΔT 32,8–51,8°C dengan rata-rata 45,0°C, sehingga sebagian pengamatan berada pada Class 2 dan beberapa titik melampaui 50°C menjadi Class 3. Suwayuwo memiliki ΔT 53,0–75,7°C dengan rata-rata 64,2°C. Seluruh pengamatan Suwayuwo berada pada Class 3, sehingga menjadi lokasi dengan prioritas perbaikan tertinggi.

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.



Gambar 2. Perubahan ΔT pada tiga penyulang terhadap waktu pengukuran

3.3 Arus Beban dan Rugi Daya

Perhitungan ulang terhadap data arus mentah menghasilkan rata-rata arus beban 238,1 A pada Pesanggrahan, 192,7 A pada Beji, dan 156,0 A pada Suwayuwo. Rata-rata tersebut diperoleh melalui perhitungan aritmetika langsung dari seluruh 21 pengamatan pada masing-masing penyulang. Walaupun Suwayuwo memiliki rata-rata arus paling rendah, suhu hotspot dan ΔT justru paling tinggi. Pola tersebut menunjukkan bahwa tingkat anomali termal tidak mengikuti urutan besarnya arus beban secara sederhana.

Rugi daya maksimum yang tercatat pada data penelitian sebesar 87,52 W pada Pesanggrahan, 94,44 W pada Beji, dan 80,19 W pada Suwayuwo. Nilai tertinggi rugi daya berada pada Beji, sedangkan keparahan termal tertinggi berada pada Suwayuwo. Perbedaan ini kembali memperlihatkan bahwa evaluasi sambungan perlu melihat lebih dari satu indikator.

Tabel 3. Ringkasan statistik kondisi termal dan elektrik

Penyulang	Arus rata-rata (A)	Suhu rata-rata (°C)	Suhu maks (°C)	ΔT rata-rata (°C)	ΔT maks (°C)	Rugi daya maks (W)
Pesanggrahan	238,1	67,0	78,1	34,3	43,6	87,52
Beji	192,7	85,4	95,6	45,0	51,8	94,44
Suwayuwo	156,0	110,5	130,0	64,2	75,7	80,19

3.4 Prioritas Penanganan

Pesanggrahan memerlukan pemeliharaan terencana pada pengukuran yang masih berada pada Class 1 dan percepatan tindakan ketika ΔT memasuki Class 2. Beji membutuhkan prioritas lebih tinggi karena beberapa pengamatan telah mencapai Class 3. Suwayuwo memerlukan tindakan paling segera karena seluruh pengukuran berada di atas ambang Class 3. Bentuk penanganan yang digunakan dalam penelitian meliputi pembersihan korosi atau oksidasi, pengencangan ulang sambungan, dan penggantian konektor seperti Line Tap Connector (LTC) atau Live Line Connector (LLC). Untuk kondisi yang memerlukan kontinuitas pasokan, tindakan dapat diarahkan melalui PDKB sesuai prosedur operasional PLN.

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

Tabel 4. Prioritas tindakan berdasarkan temuan thermovision

Penyulang	Temuan utama	Prioritas	Rekomendasi
Pesanggrahan	ΔT maks 43,6°C; Class 1–2	Tinggi	Pemeliharaan terjadwal, dipercepat saat masuk Class 2
Beji	ΔT maks 51,8°C; mencapai Class 3	Sangat tinggi	Perbaikan segera; PDKB bila kontinuitas pasokan perlu dipertahankan
Suwayuwo	ΔT 53,0–75,7°C; seluruh pengamatan Class 3	Darurat	Perbaikan langsung, pemeriksaan dan penggantian konektor bila diperlukan

4. Pembahasan

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa thermovision mampu membedakan tingkat keparahan sambungan melalui pola temperatur yang tidak mudah dikenali hanya dari pemeriksaan visual. Temuan ini memiliki arah yang sejalan dengan (Jhonson et al., 2020) yang menggunakan thermovisi dalam analisis peningkatan kinerja jaringan distribusi 20 kV. (Mustari et al., 2021) juga menempatkan hotspot thermovision dalam kajian kerusakan jointing dan rugi-rugi daya. Dibandingkan pembacaan suhu secara tunggal, penelitian ini menambahkan konteks arus beban dan ΔT pada tiga penyulang sehingga hasil inspeksi dapat diterjemahkan menjadi tingkat prioritas pemeliharaan yang lebih operasional.

Temuan paling menonjol muncul pada perbandingan Pesanggrahan dan Suwayuwo. Pesanggrahan memiliki arus rata-rata tertinggi sebesar 238,1 A, tetapi suhu maksimum dan ΔT maksimumnya hanya 78,1°C dan 43,6°C. Sebaliknya, Suwayuwo memiliki arus rata-rata lebih rendah, yaitu 156,0 A, tetapi mencapai suhu maksimum 130,0°C dan ΔT maksimum 75,7°C. Pola yang berlawanan ini menunjukkan bahwa besarnya arus beban saja belum cukup untuk menjelaskan tingkat anomali termal pada sambungan. Kajian (Mustari et al., 2021) yang berfokus pada kerusakan jointing melalui hotspot thermovision memberi konteks bahwa kondisi sambungan merupakan aspek penting dalam analisis rugi daya, sedangkan (Jhonson et al., 2020) menegaskan relevansi thermovision dalam evaluasi jaringan distribusi 20 kV. Karena penelitian ini tidak mengukur resistansi kontak secara langsung, kondisi kontak tidak dinyatakan sebagai penyebab yang telah terbukti, melainkan sebagai indikasi yang perlu diverifikasi melalui pemeriksaan fisik dan pengukuran elektrik lanjutan.

Perbedaan antara keparahan termal dan rugi daya juga terlihat pada hasil penelitian. Rugi daya maksimum tertinggi ditemukan pada Beji sebesar 94,44 W, sedangkan suhu dan ΔT paling tinggi justru terdapat pada Suwayuwo. Secara teoritis, rugi daya dipengaruhi oleh arus dan hambatan sesuai $P = I^2R$ (Anshory et al., 2022). Kajian keseimbangan beban dan rugi-rugi daya pada sistem distribusi 20 kV oleh (Sukmadi Tejo & Winardi Bambang, 2009), analisis rugi-rugi daya pada jaringan 20 kV oleh (Manalu et al., 2023), serta analisis rugi daya Penyulang Ahuru oleh (Pratiwi & Haurissa, 2023) sama-sama menempatkan rugi daya sebagai parameter penting dalam evaluasi jaringan. Hasil penelitian ini memperluas pembacaan tersebut pada tingkat sambungan dengan memperlihatkan bahwa urutan nilai rugi daya maksimum tidak selalu identik dengan urutan keparahan temperatur lokal.

Dari sisi klasifikasi, penggunaan Class 0–3 membantu mengubah hasil pengukuran menjadi urutan tindakan. Kriteria yang pada data penelitian dirujuk sebagai EPRI/FLIR digunakan sebagai klasifikasi operasional berdasarkan kenaikan temperatur, sedangkan Pedoman PLN No. 0520-2.K/DIR/2014 tetap ditempatkan sebagai acuan pemeliharaan nasional (PT. PLN (Persero) Buku 1, 2010). Pemisahan keduanya penting karena basis pembandingan temperatur tidak identik. Dengan cara ini, kategori termal tidak sekadar menjadi label, tetapi digunakan untuk membedakan titik yang masih dapat dijadwalkan dari titik yang memerlukan respons lebih cepat.

Strategi tindak lanjut yang disusun selaras dengan prinsip preventive maintenance pada jaringan distribusi yang dibahas oleh(Hariswanda & Anshory, 2024). Pesanggrahan masih memberi ruang untuk pekerjaan terjadwal pada sebagian kondisi, sedangkan Beji dan terutama Suwayuwo membutuhkan respons lebih cepat. Dalam konteks operasional yang lebih luas, upaya pengurangan kerugian operasi pada sistem PLN juga menjadi perhatian penelitian lain (Zaputra et al., 2025). Karena itu, hasil thermovision akan lebih bernilai ketika langsung diterjemahkan menjadi prioritas tindakan, baik melalui pemeliharaan terjadwal maupun pekerjaan korektif yang mempertimbangkan kontinuitas pasokan.

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

Catatan evaluasi lapangan menunjukkan bahwa setelah perbaikan, ΔT dilaporkan kembali di bawah 10°C dan rugi daya mendekati nol. Namun, seri data pascaperbaikan per waktu dan per titik tidak tersedia secara lengkap dalam dataset penelitian. Oleh karena itu, artikel ini tidak menggunakan pernyataan tersebut sebagai bukti kuantitatif efektivitas perbaikan dan tidak memasukkannya ke dalam kesimpulan utama. Keterbatasan ini menjadi ruang pengembangan penelitian berikutnya. Sistem pemantauan kelistrikan berbasis IoT yang telah dikembangkan untuk transformer dan pemantauan energi (Prasetyo et al., 2026), (Fudin et al., 2024), (Wisaksono et al., 2020) dapat menjadi arah lanjutan untuk merekam suhu dan beban secara kontinu, sementara pengukuran resistansi kontak secara langsung diperlukan agar perubahan termal dapat dikaitkan dengan parameter elektrik secara lebih kuat.

Secara keseluruhan, kontribusi praktis penelitian terletak pada penggunaan indikator termal dan elektrik secara bersama-sama. Suhu absolut memberi sinyal awal, ΔT membantu menilai keparahan relatif, arus menggambarkan kondisi operasi, sedangkan rugi daya memberi konteks terhadap konsekuensi elektrik. Dialog dengan penelitian terdahulu menunjukkan bahwa thermovision, kerusakan jointing, rugi daya, dan preventive maintenance sebenarnya merupakan tema yang saling beririsan (Jhonson et al., 2020), (Mustari et al., 2021), (Hariswanda & Anshory, 2024), (Manalu et al., 2023), (Pratiwi & Haurissa, 2023). Penelitian ini menyatukan irisan tersebut pada tiga sambungan jaringan distribusi 20 kV sehingga keputusan pemeliharaan tidak bertumpu pada satu parameter saja.

5. Kesimpulan

Integrasi thermovision dan arus beban menunjukkan perbedaan tingkat keparahan sambungan bermasalah pada tiga penyulang jaringan distribusi 20 kV. Suhu hotspot maksimum pada Pesanggrahan, Beji, dan Suwayuwo masing-masing sebesar 78,1°C, 95,6°C, dan 130,0°C, sedangkan ΔT maksimum mencapai 43,6°C, 51,8°C, dan 75,7°C. Berdasarkan klasifikasi Class 0–3 yang digunakan dalam penelitian, Pesanggrahan berada pada Class 1–2, Beji mencapai Class 3 pada beberapa pengukuran, dan Suwayuwo berada pada Class 3 di seluruh periode.

Rata-rata arus beban hasil perhitungan ulang sebesar 238,1 A pada Pesanggrahan, 192,7 A pada Beji, dan 156,0 A pada Suwayuwo. Fakta bahwa Suwayuwo memiliki temperatur tertinggi walaupun arusnya paling rendah menunjukkan bahwa keparahan hotspot tidak dapat dinilai hanya dari besarnya pembebanan. Pola tersebut mengindikasikan pentingnya kondisi kontak sambungan, tetapi penelitian ini tidak mengklaim besaran resistansi kontak karena parameter tersebut tidak diukur langsung.

Prioritas pemeliharaan dapat ditetapkan dari kombinasi ΔT, profil temperatur, dan kondisi beban. Pesanggrahan dapat diarahkan pada pemeliharaan terjadwal dengan percepatan ketika masuk Class 2, sedangkan Beji dan Suwayuwo membutuhkan tindakan lebih cepat. Data pascaperbaikan yang tidak lengkap menjadi batas utama penelitian, sehingga verifikasi sebelum–sesudah dan pengukuran resistansi kontak langsung direkomendasikan untuk penelitian berikutnya.

Daftar Pustaka

Anshory, I., Jamaaluddin, J., & Wisaksono, A. (2022). Buku Ajar Dasar Konversi Energi. In *Buku Ajar Dasar Konversi Energi*. https://doi.org/10.21070/2022/978-623-464-040-3

Fudin, M. A., Sulistiyowati, I., & Falah, A. H. (2024). IoT Integrated Electric Car Energy Monitoring System: Case Study of IMEI TEAM UMSIDA. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, *6*(2), 189–195. https://doi.org/10.37905/jjeee.v6i2.25198

Hariswanda, Y., & Anshory, I. (2024). Preventive Maintenance as a Key to Reliable Power Distribution in Indonesia. *Procedia of Engineering and Life Science*, *7*, 658–664. https://doi.org/10.21070/pels.v7i0.1536

Jhonson, S. M., Thamrin, S., & Johannes, S. (2020). Analisis Peningkatan Kinerja Jaringan Distribusi 20Kv Dengan Metode Thermovisi Jaringan Pt. Pln (Persero) Ulp Medan Baru. *Jurnal Teknologi Energi Uda*, *9*(1), 9–10. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:225552310

Manalu, J. T., Panggabean, S. M., Napitupulu, J., Sinaga, J., & Jumari, J. (2023). Analisa Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Distribusi Tegangan Menengah 20 Kv Di Pt.Pln (Persero) Up3 Sibolga. *Jurnal Teknologi Energi Uda: Jurnal Teknik Elektro*, *12*(1), 15. https://doi.org/10.46930/jteu.v12i1.2843

Mustari, A. T., Pranoto, S., & Tajuddin. (2021). Analisis Rugi-Rugi Daya Akibat Kerusakan Jointing

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

Melalui Hotspot Thermovision pada PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Rantepao. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Dan Informatika (SNTEI)*, *September*, 93–97. http://118.98.121.208/index.php/sntei/article/view/2844%0Ahttp://118.98.121.208/index.php/sntei/article/download/2844/2499

Prasetyo, A. S., Syahrorini, S., Dilshod, R., Setiawan, H., & Mamadiyarov, Z. (2026). IoT-based early warning system for transformer monitoring. *AIP Conference Proceedings*, *3374*(1), 50081. https://doi.org/10.1063/5.0319154

Pratiwi, R. W., & Haurissa, M. A. F. (2023). Analisa Rugi Daya Berbasis ETAP pada Jaringan Distribusi 20kV Penyulang Ahuru. *Jurnal ELKO (Elektrikal Dan Komputer)*, *4*(1), 328–337. https://doi.org/10.54463/je.v4i1.84

PT. PLN (Persero) Buku 1. (2010). Buku 1 kriteria Enjinering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik. *PT PLN (Persero)*, 1–170.

Sukmadi Tejo, & Winardi Bambang. (2009). Perhitungan dan Analisis Keseimbangan Beban Pada Sistem Distribusi 20 KV Terhadapat Rugi-rugi Daya (Studi Kasus Pada PT.PLN UPJ Slawi). *Jurnal Teknik Elektro*, *11*, 47–52.

Wisaksono, A., Purwanti, Y., Ariyanti, N., & Masruchin, M. (2020). Design of Monitoring and Control of Energy Use in Multi-storey Buildings based on IoT. *JEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA)*, *4*(2), 128–135. https://doi.org/10.21070/jeeeu.v4i2.539

Zaputra, G., Ayuni, S. D., Anshory, I., & Falah, A. H. (2025). Temporary Devider as an innovation tool in reducing operational losses of PT PLN (Persero) UP3 Sidoarjo. *Journal of Electrical Engineering and Computer (JEECOM)*, *7*(1), 77–84. https://doi.org/10.33650/jeecom.v7i1.10810

Conflict of Interest Statement:
The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.
Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.