

Hot Point Analysis and Equipment Monitoring Using Thermovision at 150kV Substation

Analisis Hot Point dan Monitoring Peralatan dengan Thermovisi di Gardu Induk 150kV

Dandy A. G. Kaluase, Lily S. Patras, Glanny M. C. Mangindaan

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia

e-mails : 180201103030@student.unsrat.ac.id , lilypatras@unsrat.ac.id , glannym@unsrat.ac.id

Received: [date]; revised: [date]; accepted: [date] (Times New Roman 11)

Abstract — In the electrical power system, equipment condition monitoring is crucial to prevent disturbances that may lead to damage or even system failure. One of the methods used to detect potential issues in electrical systems is thermovision, which enables the identification of hot points, or abnormal temperature spots, that could disrupt equipment performance. This study aims to analyze and determine hot points on equipment at the 150kV Teling Substation using the thermovision method. Thermovision works by detecting infrared radiation emitted by electrical equipment and converting it into thermal images that can be analyzed. Through this approach, the study observes abnormal temperatures in various electrical components, such as conductor clamps and terminals, which may potentially cause electrical disturbances. The research findings indicate that there are significant temperature differences at certain points within the 150kV Teling Substation, which can be categorized as hot points based on thermovision standards. The temperature discrepancies between clamps and conductors suggest that some electrical connections require further inspection to prevent system failure. With this analysis, preventive maintenance can be conducted more effectively, enhancing operational efficiency and the reliability of the electrical system.

Keywords: Equipment Monitoring, Hot Point, Preventive Maintenance, Substation, Thermovision.

Abstrak — Dalam sistem tenaga listrik, pemantauan kondisi peralatan sangat penting untuk mencegah gangguan yang dapat menyebabkan kerusakan atau bahkan kegagalan sistem. Salah satu metode yang digunakan untuk mendeteksi potensi masalah pada sistem kelistrikan adalah termovisi, yang memungkinkan identifikasi hot point atau titik panas yang berpotensi mengganggu kinerja peralatan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan menentukan hot point pada peralatan Gardu Induk 150kV Teling menggunakan metode termovisi. Metode termovisi bekerja dengan mendeteksi radiasi inframerah yang dipancarkan oleh peralatan listrik dan mengonversinya menjadi gambar termal yang dapat dianalisis. Dengan pendekatan ini, penelitian mengamati suhu abnormal pada berbagai komponen kelistrikan, seperti klem sambungan dan konduktor, yang berpotensi menyebabkan gangguan listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan suhu signifikan pada beberapa titik di Gardu Induk 150kV Teling yang dapat dikategorikan sebagai hot point berdasarkan standar termovisi. Selisih suhu antara klem dan konduktor menunjukkan bahwa kondisi sambungan listrik di beberapa titik perlu diperiksa lebih lanjut untuk mencegah kegagalan sistem. Dengan analisis ini, pemeliharaan preventif dapat dilakukan secara lebih efektif, meningkatkan efisiensi operasional dan keandalan sistem kelistrikan.

Kata kunci: Gardu Induk, Hot Point, Monitoring Peralatan, Pemeliharaan Preventif, Thermovisi.

I. PENDAHULUAN (TIMES NEW ROMAN 10)

Perkembangan di era modern ini sangat melekat dengan kebutuhan energi listrik. Listrik merupakan energi yang sangat diperlukan manusia dalam segala bidang, baik industri maupun kehidupan bermasyarakat. Energi listrik yang dibutuhkan oleh masyarakat dan industri, atau lainnya memiliki persyaratan dasar yang harus disediakan oleh pemasok listrik yang mampu memenuhi kebutuhan energi listrik secara andal dan efisien. Selain keandalan dan efisiensi, catu daya adalah suatu keharusan juga memiliki kualitas dan kontinuitas yang baik (Putra, 2018). Untuk mendapatkan listrik yang baik, pemeliharaan dan pemantauan berkelanjutan diperlukan secara berkala untuk menjaga kondisi peralatan listrik agar berfungsi dengan baik dan handal, untuk menghindari gangguan yang dapat merusak sistem yang dapat mengganggu kualitas dan kontinuitas listrik (Putra, 2018).

Sistem kelistrikan antar pusat-pusat Pembangkit listrik dan pusat-pusat beban pada umumnya terpisah dalam ribuan kilometer, sehingga tenaga listrik yang dibangkitkan harus disalurkan melalui kawat-kawat saluran transmisi yang dioperasikan oleh gardu induk. Gardu induk adalah sebagian unit yang menjalankan peralatan-peralatan tegangan tinggi pada switchyard tidak lepas dari adanya konduktor dan sambungan yang dapat menyalurkan energi listrik dari satu peralatan ke peralatan lainnya. Konduktor tidak hanya di aliri oleh energi listrik tetapi juga bisa melepaskan suhu panas hot point.

Selama pengoperasian, peralatan switchgear menghantarkan arus listrik, yang menyebabkan suhu tinggi atau hot spot di terminal dan konduktor. Karena banyaknya peralatan lama dan jarak antara stasiun distribusi yang berdekatan, sering terjadi gesekan yang membuatnya rentan terhadap suhu tinggi. Bagian yang sering panas adalah terminal dan sambungan kabel. Terutama penampang konduktor yang berkurang karena korosi, sehingga 2 bagian tersebut harus diperhatikan dengan cara pemantauan atau pengecekan karena jika tidak dilakukan pengecekan akan terjadi hubung singkat dan permasalahan lain akan timbul. Maka dari itu penulis tertarik untuk

melakukan penelitian tentang “Analisis Hot Point

Dengan menggunakan Thermovisi pada Gardu Induk 150 kV Teling” Analisis dilakukan dengan melalui pengambilan data pada lokasi dan kemudian melakukan perhitungan suhu klem konduktor dan perhitungan rugi-rugi daya.

A. Penelitian Terkait

Analisis pemeliharaan kinerja dengan metode thermovisi pada peralatan gardu induk 500kv tambun juga membahas tentang pemeliharaan kinerja pada peralatan Gardu induk 500kV dengan menggunakan metode thermovisi [1] Penerapan Metode Blind Deconvolution dalam Peningkatan Kualitas Citra Termal jurnal ini membahas tentang penerapan metode blind deconvolution yang memanfaatkan pancaran suhu suatu benda.[2] Analisis peningkatan kinerja jaringan distribusi 20kv dengan metode thermovisi jaringan pt. pln (persero) ulp medan baru yang membahas bagaimana kualitas dari sistem distribusi dipandang dari beberapa macam sumber gangguan [3] Sistem Pemeliharaan Pada Baterai 110 VDC Pada Gardu Induk 150 KV Bayu Lhokseumawe PT. PLN (Persero) Banda Aceh pelaksanaan pemeliharaan sistem DC adalah metode assessment hasil monitoring operasi dan pemeliharaan rutin sesuai periodik yang telah ditentukan [4] Alisis frekuensi gangguan terhadap kinerja sistem proteksi gardu induk 150 kv siempat rube Penelitian difokuskan pada sistem proteksi Differential Relay (Alstom) dan Over Current Relay (Alstom) pada area transformator daya, serta sistem proteksi Over Current Relay (Alstom) pada jaringan tegangan menengah. Analisis Pemeliharaan Preventif Gardu Kubikal untuk Meningkatkan Keandalan Sistem Distribusi Listrik di PT. Haleyora Powerindo fokus pada tahapan pemeliharaan, seperti persiapan, pelaksanaan, dan penyelesaian, serta identifikasi potensi penyebab kerusakan seperti korona, binatang, dan kelembapan[5] Penentuan hot point dan monitoring peralatan menggunakan thermal imagers fluke dengan metode thermovisi. penelitian ini melakukan pengukuran dan merupakan kegiatan thermovisi yang dilakukan secara rutin sebagai kegiatan monitoring pemeliharaan tenaga listrik yang kemudian dilakukan analisa hasil thermovisi. [6]

B. Konsep Hot Point dalam Sistem Kelistrikan

Hot point dalam sistem tenaga listrik dapat terjadi pada berbagai komponen, seperti busbar, transformator, pemutus sirkuit (circuit breaker), isolator, switchgear, dan koneksi kabel. Penyebab utama terjadinya hot point antara lain hubungan listrik yang tidak sempurna akibat baut atau sambungan yang longgar, korosi pada konektor, beban berlebih yang menyebabkan arus tinggi melebihi kapasitas desain komponen, serta penuaan peralatan yang mengurangi efisiensi konduksi listrik. Selain itu, faktor lingkungan seperti kelembapan tinggi, debu, dan kontaminasi bahan konduktif juga dapat meningkatkan resistansi sambungan dan menyebabkan kenaikan suhu pada titik-titik tertentu dalam sistem.

C. Gardu Induk

Gardu Induk adalah satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi). Penyaluran adalah sub sistem dari sistem tenaga listrik. Dengan demikian gardu induk merupakan sub-sub

sistem dari sistem tenaga listrik. Sebagai sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi), gardu induk mempunyai peranan penting, dalam pengoperasiannya tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan. Listrik diperoleh dari pembangkit, dinaikkan tegangannya, kemudian disalurkan ke transmisi untuk menjangkau masyarakat dan memenuhi kebutuhan sehari-hari. Berdasarkan hal tersebut dapat diketahui bahwa penggunaan sistem memiliki peran penting dalam kemampuan penyediaan tenaga listrik kepada konsumen. Fungsi utama Gardu Induk adalah:

- Mengubah Tegangan (Transformasi Tegangan)

Di pembangkit listrik, tegangan yang dihasilkan umumnya relatif rendah dan perlu ditingkatkan untuk disalurkan ke jarak yang jauh dengan efisiensi tinggi. Oleh karena itu, di gardu induk, transformator digunakan untuk menaikkan tegangan menjadi tegangan tinggi, yang dikenal sebagai tegangan transmisi, seperti 150 kV, 500 kV, atau bahkan lebih tinggi. Tegangan yang lebih tinggi diperlukan karena semakin tinggi tegangan yang digunakan, semakin kecil arus yang diperlukan untuk mengalirkan daya yang sama, sehingga mengurangi rugi-rugi energi yang disebabkan oleh hambatan konduktor pada saluran transmisi.

- Penghubung antara Sistem Transmisi dan Distribusi

Gardu induk berfungsi sebagai penghubung antara dua bagian sistem kelistrikan yang berbeda, yaitu sistem transmisi dan sistem distribusi. Sistem transmisi membawa listrik dalam jumlah besar dengan tegangan tinggi dari pembangkit menuju gardu induk, sementara sistem distribusi mendistribusikan listrik dengan tegangan yang lebih rendah kepada konsumen akhir. Gardu induk juga bertanggung jawab untuk menyalurkan listrik dari sistem transmisi ke sistem distribusi, memastikan bahwa pasokan daya yang tinggi dapat diterima oleh pelanggan dengan tegangan yang sesuai.

- Proteksi dan Keamanan Sistem

Proteksi di sini meliputi perlindungan terhadap peralatan kelistrikan yang ada di dalamnya, seperti transformator, pemutus sirkuit, dan sistem jaringan. Fungsi proteksi ini mencegah terjadinya kerusakan yang lebih parah akibat gangguan, seperti arcing, hubung singkat, atau overvoltage. Di gardu induk, pemutus sirkuit digunakan untuk memutus aliran listrik jika terjadi gangguan atau arus berlebih yang dapat merusak peralatan dan menimbulkan risiko kebakaran atau kerusakan jaringan.

D. Peralatan Yang ada di Gardu Induk

Gardu induk dilengkapi oleh beberapa peralatan listrik yang berguna untuk menunjang peran gardu induk itu sendiri sebagai suatu sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan ataupun mentransformasikan energi listrik. Diantaranya adalah sebagai berikut

1. Lightning Arrester

Lightning arrester (penangkal petir) adalah peralatan listrik yang dirancang untuk melindungi sistem dan peralatan listrik dari dampak lonjakan tegangan yang disebabkan oleh surya, baik itu surya hubung maupun surya petir. Pada saat terjadi peristiwa surya, gelombang berjalan

(travelling wave) yang merambat pada konduktor sistem transmisi memiliki kecepatan mendekati kecepatan cahaya dan berlangsung dalam orde mikrodetik. Jika nilai tegangan lonjakan ini melebihi Basic Insulation Level (BIL) peralatan, maka isolasi yang melindungi komponen-komponen listrik akan rusak dan dapat menyebabkan kerusakan serius. Untuk menghindari hal tersebut, lightning arrester dipasang guna "memotong" jalannya gelombang surya dan mengalirkannya ke pembumihan. Trafo Instrumen dan Panel Kontrol

2. Trafo Instrumen dan Panel Kontrol

Trafo instrumen adalah perangkat pengubah sinyal listrik yang dirancang untuk mengubah nilai arus dan tegangan dari level tinggi (primer) ke level yang lebih kecil dan aman (sekunder), sehingga dapat diukur dan dipantau secara akurat. Terdapat dua jenis utama, yaitu:

- Current Transformer (CT): Mengubah arus tinggi pada sistem ke arus yang lebih rendah, sehingga peralatan pengukuran dan proteksi dapat menangani arus tersebut tanpa membahayakan peralatan.
- Potential Transformer (PT) atau Voltage Transformer (VT): Menurunkan tegangan tinggi ke level yang aman untuk pengukuran dan monitoring.

Trafo instrumen bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, di mana fluks magnetik yang dihasilkan oleh arus primer diubah melalui inti besi ke kumparan sekunder. Perbandingan jumlah lilitan antara primer dan sekunder menentukan skala transformasi.

3. Pemutus Sirkuit (Circuit Breaker)

Dalam sistem tenaga listrik, pemutus sirkuit (circuit breaker) merupakan perangkat proteksi yang esensial untuk menjaga keandalan dan keselamatan operasional. Secara teoretis, pemutus sirkuit berfungsi mendeteksi kondisi abnormal—seperti lonjakan arus akibat hubung singkat atau beban berlebih—dan secara otomatis memutuskan aliran listrik dalam waktu yang sangat singkat. Hal ini dilakukan untuk mencegah kerusakan peralatan, mengurangi risiko kebakaran, dan memastikan stabilitas sistem. Prinsip kerja pemutus sirkuit didasarkan pada gabungan mekanisme elektromagnetik dan mekanik, yang dioptimalkan dengan teknologi pemadam busur (arc quenching) melalui berbagai media isolasi, seperti udara, minyak, vakum, atau gas SF₆.

4. Isolator

Isolator adalah perangkat yang terbuat dari bahan non-konduktif seperti keramik, kaca, atau komposit, yang digunakan untuk memisahkan konduktor listrik dari struktur pendukung atau komponen lain dalam sistem tenaga listrik. Dalam sistem tenaga listrik, isolator merupakan komponen vital yang berfungsi untuk menjaga keamanan dan integritas sistem dengan memisahkan bagian-bagian peralatan yang dialiri listrik dengan bagian yang tidak dialiri, sehingga meminimalisir risiko terjadinya kebocoran arus dan memastikan keselamatan personel saat melakukan pemeliharaan

5. Switchgear

Switchgear adalah sekumpulan peralatan listrik yang terdiri dari pemutus sirkuit (circuit breaker), sekat isolasi (disconnecting switch), pengaman arus lebih (relay proteksi), serta pengukur tegangan dan arus yang berfungsi untuk mengendalikan dan melindungi sistem tenaga listrik.

Dalam sistem tenaga listrik, switchgear memiliki beberapa fungsi utama. Sebagai perangkat proteksi, switchgear berperan dalam mengisolasi bagian sistem yang mengalami gangguan guna mencegah kerusakan lebih lanjut pada peralatan lainnya

6. Busbar

Busbar merupakan salah satu komponen utama dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai penghantar arus listrik dari satu bagian ke bagian lainnya dalam jaringan distribusi atau transmisi. Busbar biasanya terbuat dari material konduktor seperti tembaga atau aluminium yang memiliki konduktivitas tinggi, sehingga dapat mengalirkan arus listrik dengan resistansi yang minimal. Dalam gardu induk dan pusat distribusi listrik, busbar menjadi elemen penting karena berperan dalam menghubungkan berbagai peralatan listrik seperti transformator, switchgear, pemutus sirkuit, dan peralatan proteksi lainnya

E. Thermovisi

Thermovisi merupakan metode pencitraan termal yang digunakan untuk mendeteksi distribusi suhu pada suatu objek atau sistem dengan memanfaatkan gelombang inframerah. Metode ini bekerja berdasarkan prinsip bahwa setiap objek dengan suhu di atas nol absolut (-273,15°C atau 0 Kelvin) akan memancarkan radiasi inframerah yang tidak kasat mata oleh mata manusia. Kamera thermovisi menangkap radiasi ini dan mengonversinya menjadi gambar visual yang menunjukkan perbedaan suhu dalam berbagai warna atau gradasi, sehingga memungkinkan identifikasi titik-titik panas (hot point) yang dapat menjadi indikasi adanya gangguan atau anomali pada suatu sistem, termasuk dalam sistem tenaga listrik.

Dalam sistem kelistrikan, metode thermovisi banyak digunakan untuk pemantauan dan inspeksi peralatan listrik, seperti busbar, transformator, pemutus sirkuit (circuit breaker), isolator, konektor, dan kabel transmisi. Dengan menggunakan metode ini, teknisi dapat mendeteksi kenaikan suhu abnormal akibat resistansi tinggi, arus berlebih, koneksi longgar, atau kondisi peralatan yang mengalami degradasi sebelum terjadi kegagalan atau gangguan yang lebih besar.

Metode thermovisi bekerja berdasarkan deteksi radiasi inframerah yang dipancarkan oleh suatu objek. Setiap objek dengan suhu tertentu memiliki panjang gelombang radiasi inframerah yang berbeda. Kamera termal menangkap radiasi ini dan mengubahnya menjadi gambar termal, yang biasanya ditampilkan dalam bentuk peta warna (thermal mapping).

Prinsip dasar metode thermovisi mengacu pada Hukum Radiasi Termal Planck, Hukum Stefan-Boltzmann, dan Hukum Pergeseran Wien, yang menjelaskan hubungan antara suhu suatu objek dengan jumlah energi radiasi yang dipancarkan. Semakin tinggi suhu suatu objek, semakin besar pula energi radiasi inframerah yang dipancarkan, dan semakin pendek panjang gelombang radiasinya.

Metode thermovisi banyak digunakan untuk pemantauan kondisi peralatan listrik secara non-kontak, yang berarti inspeksi dapat dilakukan tanpa harus menghentikan operasi sistem. Beberapa aplikasi utama thermovisi dalam sistem kelistrikan meliputi:

- Deteksi Hot Point pada Gardu Induk

Thermovisi digunakan untuk mengidentifikasi titik-titik panas pada peralatan seperti transformator, pemutus sirkuit, busbar, isolator, dan koneksi kabel

- Pemantauan Transformator

Dengan thermovisi, kondisi termal transformator dapat dipantau secara berkala untuk mencegah kegagalan yang lebih besar.

- Analisis Kinerja Kabel dan Sambungan

sambungan yang bermasalah dapat diidentifikasi lebih awal sebelum menyebabkan kerusakan atau kebakaran

- Deteksi Ketidakseimbangan Beban

Thermovisi memungkinkan teknisi untuk mengidentifikasi perbedaan suhu ini sehingga tindakan rugi-rugi daya pada saluran listrik. Rugi-rugi itu sendiri dapat dibuktikan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P = I^2 \times R$$

Keterangan:

P = Rugi-rugi daya (Watt) I = Arus saluran (Ampere)

R = Resistansi peralatan (Ω)

Untuk mencegah agar hal-hal yang dapat merusak sistem

F. Standar Thermovisi

Pengukuran thermovisi dimuat dalam Buku Pedoman Pemeliharaan PLN No. 0520-2.K/DIR/2014, sebagai salah satu acuan prosedur pemeliharaan peralatan PLN yang terdapat di GI. Berdasarkan standar dari buku pedoman tersebut interpretasi hasil thermovisi dapat dikategorikan sebagai berikut:

Table 1 Standar Pengukuran Thermovisi

Prioritas	Perbedaan temperatur (Delta-T) didasari dengan perbandingan antar tingkat		Aksi Rekomendasi
	Komponen dibawah peralatan serupa	Komponen dan Udara sekitar	
1	>15°C	> 40	Perbandingan signifikan;perbaiki segera
2	-	21 + 40°C	Pemantauan sampai dengan pemeliharaan
3	4 + 15°C	11 + 20°C	Indikasi masalah terdeteksi;rencanakan perbaikan
4	1 + 3°C	1 + 10°C	Pendeteksian diijinkan; monitoring.

Table 2 Objek dan Suhu Operasi Referensi kenaikan Temperatur dan kelas

NO	ΔT (perbedaan suhu antar fasa)	Rekomendasi
1	1 °C – 3 °C	Dimungkinkan ada ketidaknormalan, perlu investigasi lanjut
2	4 °C – 15 °C	Mengindikasikan adanya defisiensi, perlu dijadwalkan perbaikan
3	> 16 °C	Ketidaknormalan Mayor, perlu dilakukan perbaikan/penggantian segera

Table 3 Tingkat permasalahan sistem tingkat prioritas

NO	OBJEK	Suhu Operasi Referensi (°C)
1	Terminasi biasa, MCB	45-50
2	Body transformer besar	60
3	Bus bar 50	50
4	Contactora besar	70
5	Contactora kecil	65
6	Sambungan contactora dan overload relay	75
7	Breaker besar	60
8	Breaker kecil	55
9	Terminasi fuse	50
10	Terminasi trafo besar 55	55

G. Alat Pengukur Thermovisi

Thermovisi adalah teknologi pemantauan suhu berbasis inframerah yang digunakan untuk mendeteksi anomali suhu pada sistem kelistrikan secara non-kontak. Pengukuran thermovisi sangat penting dalam industri tenaga listrik karena dapat mengidentifikasi potensi gangguan sebelum terjadi kegagalan peralatan, seperti pemanasan berlebih pada sambungan listrik, konektor, busbar, transformator, dan pemutus sirkuit (circuit breaker).

Dalam sistem kelistrikan, peralatan yang mengalami kenaikan suhu abnormal sering kali merupakan indikasi adanya masalah hubungan yang longgar, peningkatan resistansi, atau kelebihan beban. Oleh karena itu, penggunaan thermovisi sangat membantu dalam pemeliharaan prediktif dengan cara mendeteksi titik panas (hot spot) secara dini, sehingga memungkinkan tim teknis untuk melakukan perbaikan sebelum terjadi kerusakan yang lebih serius. Pengukuran thermovisi dilakukan berdasarkan perbedaan suhu antara dua titik yang dibandingkan atau suhu relatif terhadap lingkungan sekitarnya. Dalam praktiknya, terdapat dua metode

utama yang digunakan dalam pelaksanaan pengukuran thermovisi pada sistem tenaga listrik, yaitu pemeriksaan pada thermal utama dan pemeriksaan pada interrupter chamber.

H. Deteksi Dini dan Pencegahan Kerusakan melalui Thermovisi

Dalam sistem tenaga listrik, peralatan seperti transformator, pemutus sirkuit, isolator, busbar, dan kabel transmisi beroperasi dalam kondisi yang terus-menerus mengalami tegangan tinggi serta arus listrik yang besar. Gangguan atau kegagalan pada peralatan tersebut dapat menyebabkan pemadaman listrik, kerusakan peralatan yang lebih luas, serta risiko kebakaran atau kecelakaan kerja. Oleh karena itu, diperlukan metode pemantauan dan deteksi dini yang efektif untuk mengidentifikasi potensi gangguan sebelum berkembang menjadi kerusakan yang lebih serius. Salah satu teknologi yang digunakan secara luas dalam pemeliharaan sistem tenaga listrik adalah thermovisi atau pencitraan termal.

I. Keamanan dan Efisiensi dengan Penggunaan Thermovisi

Keamanan dan efisiensi operasional merupakan dua faktor utama yang harus diperhatikan untuk memastikan kelangsungan pasokan energi yang andal dan minim gangguan. Salah satu teknologi yang telah terbukti sangat efektif dalam meningkatkan kedua aspek ini adalah thermovisi, atau pencitraan termal inframerah.

Thermovisi memungkinkan deteksi dini terhadap potensi kegagalan peralatan listrik dengan mengidentifikasi titik panas (hot spot) yang sering kali menjadi indikator awal adanya masalah seperti beban berlebih, koneksi longgar, atau degradasi isolasi.

J. Pengukuran Thermovisi

Pengukuran thermovisi sangat penting dalam industri tenaga listrik karena dapat mengidentifikasi potensi gangguan sebelum terjadi kegagalan peralatan, seperti pemanasan berlebih pada sambungan listrik, konektor, busbar, transformator, dan pemutus sirkuit (circuit breaker).

Peralatan yang mengalami kenaikan suhu abnormal sering kali merupakan indikasi adanya masalah hubungan yang longgar, peningkatan resistansi, atau kelebihan beban. Oleh karena itu, penggunaan thermovisi sangat membantu dalam pemeliharaan prediktif dengan cara mendeteksi titik panas (hot spot) secara dini, sehingga memungkinkan tim teknis untuk melakukan perbaikan sebelum terjadi kerusakan yang lebih serius.

Pengukuran thermovisi dilakukan berdasarkan perbedaan suhu antara dua titik yang dibandingkan atau suhu relatif terhadap lingkungan sekitarnya. Dalam praktiknya, terdapat dua metode utama yang digunakan dalam pelaksanaan pengukuran thermovisi pada sistem tenaga listrik, yaitu pemeriksaan pada thermal utama dan pemeriksaan pada interrupter chamber.

K. Perhitungan Suhu Klem dan Konduktor

Pengukuran temperatur menggunakan kamera thermovisi dilakukan dengan membandingkan suhu konduktor dan suhu pada klem sambungan. Konduktor adalah media penghantar arus listrik, sementara klem sambungan berfungsi sebagai titik koneksi antara dua konduktor atau antara konduktor dengan

perangkat listrik lainnya. Klem sambungan sering kali menjadi titik paling rentan terhadap peningkatan suhu, terutama jika terdapat ketidaksempurnaan dalam pemasangan atau kualitas material yang menurun akibat penuaan.

Pengukuran suhu thermovisi menggunakan standar delta-T (ΔT), yaitu perbedaan suhu antara klem sambungan dan konduktor.

$$\Delta T = \left(\frac{I_{maks}}{I_{saat\ Thermovisi}} \right)^2 \cdot (T_{klem} - T_{konduktor})$$

Keterangan Variabel dalam Persamaan ΔT

- ΔT = Selisih suhu antara klem sambungan dan konduktor dalam satuan derajat Celsius ($^{\circ}C$).
- I_{maks} = Arus maksimal yang pernah dicapai pada sistem kelistrikan sebelum pengukuran thermovisi dilakukan (Ampere, A).
- $I_{saat\ thermovisi}$ = Arus aktual yang mengalir pada saat dilakukan pengukuran thermovisi (Ampere, A).
- T_{klem} = Temperatur klem sambungan yang diukur menggunakan kamera thermovisi ($^{\circ}C$).
- $T_{konduktor}$ = Temperatur konduktor yang diukur menggunakan kamera thermovisi ($^{\circ}C$).

Setelah nilai ΔT dihitung, hasilnya dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan apakah suatu komponen listrik berada dalam kondisi normal, mulai mengalami degradasi, atau dalam keadaan kritis yang memerlukan tindakan segera

L. Perhitungan Emisivitas

Emisivitas merupakan salah satu faktor krusial yang menentukan akurasi pengukuran suhu permukaan suatu objek. Emisivitas didefinisikan sebagai kemampuan suatu benda dalam memancarkan energi radiasi termal dibandingkan dengan benda hitam sempurna pada suhu yang sama. Nilai emisivitas berkisar antara 0 hingga 1, di mana benda hitam sempurna memiliki emisivitas sebesar 1, sedangkan benda yang memantulkan sebagian besar radiasi memiliki nilai emisivitas yang lebih rendah. Nilai emisivitas harus dikalibrasi dengan benar agar data suhu yang dihasilkan mewakili kondisi sebenarnya dari objek yang diamati.

- Rumus Perhitungan Emisivitas

Persamaan Hukum Stefan-Boltzmann untuk perhitungan energi radiasi termal dapat dituliskan sebagai berikut:

$$P = e \cdot \sigma \cdot T^4$$

Dari persamaan ini, nilai emisivitas (e) dapat dihitung dengan mengubahnya menjadi:

$$e = \frac{P}{\sigma \cdot T^4}$$

Keterangan Variabel dalam Persamaan Emisivitas

- P = Energi termal yang dipancarkan oleh suatu permukaan (Watt per meter persegi, W/m^2).
- e = Emisivitas dari bahan atau objek yang diuji (tanpa satuan).
- σ = Konstanta Stefan-Boltzmann, dengan nilai $5,672 \times 10^{-8} W/m^2K^4$.
- T = Suhu mutlak benda dalam satuan Kelvin (K).

II. METODE

A. Data Teknis LA

NO	ULTD	TEGANGAN	BAY	MER EK	TIPE	NOMOR SERI	FASA	TAHUN BUAT	TAHUN PENGUJIAN
1	Sawangan	70	Line 2 Ranomuut	EM P	IMB75	0	R	1988	27-Jul-20
2	Sawangan	70	Line 2 Ranomuut	EM P	IMB75	0	S	1988	27-Jul-20
3	Sawangan	70	Line 2 Ranomuut	EM P	IMB75	0	T	1988	27-Jul-20
4	Sawangan	70	Line 1 Tomohon	ABB	EXLIN R072-CV02	0	R	2010	22-Feb-22
5	Sawangan	70	Line 1 Tomohon	ABB	EXLIN R072-CV02	0	S	2010	22-Feb-22
6	Sawangan	70	Line 1 Tomohon	ABB	EXLIN R072-CV02	0	T	2010	22-Feb-22

B. Data Teknis PMT

NO	ULTD	TEGANGAN	BAY	MER EK	TIP E	NOMOR SERI	FASA	TAHUN BUAT	TAHUN PENGUJIAN
1	Sawangan	150	Line 2 Ranomuut	ABB	EDF SK1-1	70012770	R	2012	27-Jul-20
2	Sawangan	150	Line 2 Ranomuut	ABB	EDF SK1-1	70012770	S	2012	27-Jul-20
3	Sawangan	150	Line 2 Ranomuut	ABB	EDF SK1-1	70012770	T	2012	27-Jul-20
4	Sawangan	70	Line 1 Ranomuut	ARVA	GL 3009 F1	8778-20-2035521-1	R		15-Feb-22
5	Sawangan	70	Line 1 Ranomuut	ARVA	GL 3009 F1	8778-20-2035521-1	S		15-Feb-22
6	Sawangan	70	Line 1 Ranomuut	ARVA	GL 3009 F1	8778-20-2035521	T		15-Feb-22

C. Data Pemeliharaan Langsung (LA)

No	Thermovision	Visual Inspection	Pembotan	Cek Pengujian	Nilai
1	9	9	9	1	9
2	9	9	9	1	9
3	9	9	9	1	9
4	9	9	9	1	9
5	9	9	9	1	9
6	9	9	9	1	9
7	9	9	9	1	9
8	9	9	9	1	9
9	9	9	9	1	9
10	9	9	9	1	9
11	9	9	9	1	9
12	9	9	9	1	9
13	9	9	9	1	9
14	9	9	9	1	9
15	9	9	9	1	9

D. Data Pemeliharaan Langsung (PMT)

No	Thermovision	Visual Inspection
1	9	9
2	9	9
3	9	9
4	9	9
5	9	9
6	9	9
7	9	9
8	9	9
9	9	9
10	9	9
11	9	9
12	9	9
13	9	9
14	9	9
15	9	9
16	9	9
17	9	9
18	9	9

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Pemeliharaan LA

Berdasarkan Tabel pemeliharaan Teknis dan pemeliharaan langsung pada LA berikut hasil analisa dengan metode Thermovisi :

- Pemeliharaan LA pada tanggal 27-07-2020 di ULTD Sawangan bay Line 2 Ranomuut dengan tipe IMB75 fasa R,S,T di peroleh hasil seperti yang tertera di

tabel pemeliharaan LA. Adapun angka 9 yang menyatakan bahwa itu adalah score mulai dari 1-10 dan angka 9 menyatakan kondisi peralatan tersebut bagus dari pencitraan hasil pada Thermovisi.

- Pemeliharaan LA pada tanggal 22-02-2022 di ULTD Sawangan bay Line 1 Tomohon dengan tipe EXLIN R072-CV02 fasa R,S,T di peroleh hasil seperti yang tertera di tabel pemeliharaan LA. Adapun angka 9 yang menyatakan bahwa itu adalah score mulai dari 1-10 dan angka 9 menyatakan kondisi peralatan tersebut bagus dari pencitraan hasil pada Thermovisi.
- Pemeliharaan LA pada tanggal 14-03-2022 di ULTD Sawangan bay Line #2 Tomohon dengan tipe EXLIM Q144-XH17 fasa R,S,T di peroleh hasil seperti yang tertera di tabel pemeliharaan LA. Adapun angka 9 yang menyatakan bahwa itu adalah score mulai dari 1-10 dan angka 9 menyatakan kondisi peralatan tersebut bagus dari pencitraan hasil pada Thermovisi.
- Pemeliharaan LA pada tanggal 25-01-2023 di ULTD Sawangan bay Line 1 Tomohon dengan tipe EXLIM R072-CV02 fasa R,S,T di peroleh hasil seperti yang tertera di tabel pemeliharaan LA. Adapun angka 9 yang menyatakan bahwa itu adalah score mulai dari 1-10 dan angka 9 menyatakan kondisi peralatan tersebut bagus dari pencitraan hasil pada Thermovisi.
- Pemeliharaan LA pada tanggal 26-01-2023 di ULTD Sawangan bay Line 1 Ranomuut dengan tipe IMB75 fasa R,S,T di peroleh hasil seperti yang tertera di tabel pemeliharaan LA. Adapun angka 9 yang menyatakan bahwa itu adalah score mulai dari 1-10 dan angka 9 menyatakan kondisi peralatan tersebut bagus dari pencitraan hasil pada Thermovisi

B. Analisa Pemeliharaan PMT

Berdasarkan Tabel pemeliharaan Teknis dan pemeliharaan langsung pada PMT berikut hasil analisa dengan metode Thermovisi :

- Pemeliharaan PMT pada tanggal 27-07-2020 di ULTD Sawangan bay Line 2 Ranomuut dengan tipe EDF SK1-1 fasa R,S,T di peroleh hasil seperti yang tertera di tabel pemeliharaan PMT. Adapun angka 9 yang menyatakan bahwa itu adalah score mulai dari 1-10 dan angka 9 menyatakan kondisi peralatan tersebut bagus dari pencitraan hasil pada Thermovisi.
- Pemeliharaan PMT pada tanggal 15-02-2022 di ULTD Sawangan bay Line 1 Ranomuut dengan tipe GL 3009F1 fasa R,S,T di peroleh hasil seperti yang tertera di tabel pemeliharaan PMT. Adapun angka 9 yang menyatakan bahwa itu adalah score mulai dari 1-10 dan angka 9 menyatakan kondisi peralatan tersebut bagus dari pencitraan hasil pada Thermovisi.
- Pemeliharaan PMT pada tanggal 14-03-2022 di ULTD Sawangan bay Line 2 Tomohon dengan tipe EDFSK1-1 fasa R,S,T di peroleh hasil seperti yang tertera di tabel pemeliharaan PMT. Adapun angka 9 yang menyatakan bahwa itu adalah score mulai dari 1-10 dan angka 9 menyatakan kondisi peralatan tersebut bagus dari pencitraan hasil pada Thermovisi.
- Pemeliharaan PMT pada tanggal 25-01-2023 di ULTD Sawangan bay Line 1 Tomohon dengan tipe GL 309

F1 fasa R,S,T di peroleh hasil seperti yang tertera di tabel pemeliharaan PMT. Adapun angka 9 yang menyatakan bahwa itu adalah score mulai dari 1-10 dan angka 9 menyatakan kondisi peralatan tersebut bagus dari pencitraan hasil pada Thermovisi.

- Pemeliharaan PMT pada tanggal 26-01-2023 di ULTD Sawangan bay Line 1 Ranomuut dengan tipe EDFSK1-1 fasa R,S,T di peroleh hasil seperti yang tertera di tabel pemeliharaan PMT. Adapun angka 9 yang menyatakan bahwa itu adalah score mulai dari 1-10 dan angka 9 menyatakan kondisi peralatan tersebut bagus dari pencitraan hasil pada Thermovisi.
- Pemeliharaan PMT pada tanggal 22-02-2021 di ULTD Sawangan bay Line 1 Tomohon dengan tipe GL 309 F1 fasa R,S,T di peroleh hasil seperti yang tertera di tabel pemeliharaan PMT. Adapun angka 9 yang menyatakan bahwa itu adalah score mulai dari 1-10 dan angka 9 menyatakan kondisi peralatan tersebut bagus dari pencitraan hasil pada Thermovisi.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A) Kesimpulan

Analisis thermovisi di Gardu Induk 150kV Teling menunjukkan bahwa metode ini efektif dalam mendeteksi titik panas pada peralatan, terutama pada klem sambungan dan konduktor yang berpotensi mengalami gangguan. Suhu tinggi pada hot point disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk beban listrik berlebih, koneksi yang longgar, serta kondisi lingkungan seperti kelembaban dan polusi yang dapat mempercepat degradasi material. Pemantauan rutin dengan thermovisi menjadi langkah penting dalam mengidentifikasi potensi permasalahan lebih awal sebelum berkembang menjadi gangguan serius yang dapat mengganggu operasional gardu induk. Selain itu, hasil analisis juga merekomendasikan perbaikan pada sambungan yang mengalami kenaikan suhu berlebihan melalui pemeriksaan berkala dan pengencangan koneksi untuk memastikan distribusi daya tetap optimal. Dengan penerapan pemeliharaan preventif yang lebih terencana, keandalan serta efisiensi sistem tenaga listrik dapat ditingkatkan, mengurangi risiko gangguan yang dapat berdampak pada keseluruhan jaringan listrik..

B) Saran

Untuk meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik di Gardu Induk 150kV Teling, pemantauan thermovisi harus dilakukan secara berkala guna mendeteksi potensi masalah lebih dini dan mencegah gangguan yang dapat mempengaruhi kinerja peralatan. Sambungan dengan kenaikan suhu signifikan perlu segera diperbaiki untuk menghindari risiko lebih besar, sementara penggunaan kamera thermovisi beresolusi tinggi dapat meningkatkan akurasi analisis serta mempercepat proses identifikasi masalah. Selain itu, pelatihan teknisi dalam membaca dan menganalisis hasil thermovisi sangat disarankan agar pemantauan dapat dilakukan dengan lebih efektif. Dengan langkah-langkah ini, operasi gardu induk dapat berjalan lebih efisien, aman, dan andal, serta mengurangi risiko gangguan akibat kenaikan suhu yang tidak terdeteksi.

V.KUTIPAN

- [1] J. Jainudin, R. Hidayat, and R. Rahmadewi, “Thermovisi Pada Peralatan Gardu Induk,” *Media Elektr.*, vol. 15, no. 2, pp. 94–105, 2022.
- [2] M. E. Sipahutar, S. Sinurat, and I. Saputra, “Peningkatan Kualitas Citra Termal Menggunakan Metode Blind Deconvolution,” *Build. Informatics, Technol. Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 79–87, 2021, doi: 10.47065/bits.v3i2.133.
- [3] J. Teknologi and E. Uda, “Analisis Peningkatan Kinerja Jaringan Distribusi 20Kv Dengan Metode Thermovisi Jaringan Pt. Pln (Persero) Ulp Medan Baru,” *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 1, pp. 8–19, 2020.
- [4] Rosdiana and A. Furkan, “Sistem Pemeliharaan Pada Baterai 110 VDC Pada Gardu Induk 150 KV Bayu Lhokseumawe PT . PLN (Persero) Banda Aceh,” vol. 4, pp. 1–13, 2024.
- [5] D. Listrik and H. Powerindo, “Analisis Pemeliharaan Preventif Gardu Kubikal untuk Meningkatkan Keandalan Sistem,” vol. 11, no. 2, pp. 511–516, 2024.
- [6] F. I. Pasaribu, “Penentuan Hot Point Dan Monitoring Peralatan Menggunakan Thermal Imagers Fluke Dengan Metode Thermovisi,” *J. Electr. Syst. Control Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 113–128, 2021, doi: 10.31289/jesce.v4i2.4814.

**Dandy Andriskal Garande Kaluase.**

Lahir di Laba Besar, 26 April 2000 dari pasangan Karel Kaluase dan Merry Surabi. Penulis merupakan anak bungsu dari 2 bersaudara. Penulis tinggal di Tobelo, Halmahera Utara. Penulis menempuh Pendidikan Sekolah Dasar di SD Naskat Bintang Timur 1 Tobelo Pada tahun 2007-2013, kemudian penulis melanjutkan Pendidikan di Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1

Tobelo pada tahun 2013-2015, selanjutnya penulis melanjutkan Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Tobelo pada tahun 2015-2018. Setelah lulus SMA penulis melanjutkan Pendidikan Tingkat Sarjana 1 (S1) di salah satu perguruan tinggi di Sulawesi Utara yaitu Universitas Sam Ratulangi Manado Program Studi Teknik Elektro, jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik. Selama perkuliahan penulis tergabung dalam Himpunan Mahasiswa Elektro.