

**EVALUASI TERMINASI KABEL *MEDIUM VOLTAGE*
SWITCHGEAR 6.3 KV AKIBAT TERJADINYA *HOTSPOT*
MENGUNAKAN *THERMOGRAPHY***

SKRIPSI

Ditulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.)



Ditulis oleh:

ANDIKA ROBY WIYANDA

NPM.3332180031

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2024**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Evaluasi Terminasi Kabel *Medium Voltage Switchgear* 6.3 kV Akibat Terjadinya *Hotspot* Menggunakan *Thermography*

Nama : Andika Roby Wiyanda

Npm : 3332180031

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar asli hasil karya saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 30 Januari 2024



Andika Roby Wiyanda
Npm.3332180031

LEMBAR PENGESAHAN

Dengan ini ditetapkan bahwa Skripsi berikut:





Judul : Evaluasi Terminasi Kabel *Medium Voltage Switchgear* 6.3
kV Akibat Terjadinya *Hotspot* Menggunakan *Thermography*

Nama Mahasiswa : Andika Roby Wiyanda

Npm : 3332180031

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro

Telah diuji dan dipertahankan pada tanggal 30 Januari 2024 melalui siding Skripsi di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon dan dinyatakan LULUS

	Dewan Penguji	Tanda Tangan
Pembimbing I	: Dr. Suhendar, S.Pd., M.T.	 27/01
Pembimbing II	: Adi Nugraha, S.Pd., M.T.	
Penguji I	: Dr. Ir. Wahyuni Martiningsih, M.T.	
Penguji II	: Felycia, M.T.	

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa




Dr. Eng. Rocky Afanz, S.T., M.Sc.
NIP.198103282010121001

PRAKATA

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat iman, islam serta kesehatan sehingga laporan skripsi ini dapat terselesaikan. Penulisan laporan skripsi ini merupakan salah satu syarat akademis untuk menempuh Sarjana Strata 1 (S1) dan memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T). Saya mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pelaksanaan dan penulisan laporan skripsi ini kepada:

1. Kedua orang tua yang selalu mendukung juga memberi semangat, nasihat, kasih sayang, doa, dan juga materi yang tak terhingga nilainya;
2. Bapak Dr. Eng. Rocky Alfanz, S.T., M.Sc., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa;
3. Bapak Dr. Suhendar, S.Pd., M.T., selaku Dosen Pembimbing Skripsi I yang telah memberikan arahan dan bimbingannya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Skripsi ini;
4. Bapak Adi Nugraha, S.Pd., M.T., selaku Dosen Pembimbing Skripsi II yang telah memberikan arahan dan bimbingannya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Skripsi ini;
5. Bapak Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membantu dalam memberikan arahan serta bimbingannya selama berada di bangku kuliah;
6. PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian yang merupakan objek dari laporan Skripsi ini;
7. Bapak Rizal Sofyan S.T., selaku Karyawan PT Geo Dipa Energi atas arahan dan bimbingannya selama penelitian;
8. Bapak Deri Riswandha S.T., selaku Karyawan PT Geo Dipa Energi atas arahan dan bimbingannya selama penelitian;
9. Seluruh karyawan/karyawati beserta seluruh jajaran pada PT. Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha.

Saya mohon maaf apabila terdapat kesalahan maupun kekeliruan dalam penulisan laporan skripsi, serta kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan bagi penyusun. Semoga laporan skripsi ini bermanfaat khususnya bagi penulis dan pembaca pada umumnya dalam bidang ketenagalistrikan.

Cilegon, 30 Januari 2024



Andika Roby Wiyanda

3332180031

ABSTRAK

Andika Roby Wiyanda

Teknik Elektro

Evaluasi Terminasi Kabel *Medium Voltage Switchgear* 6.3 kV Akibat Terjadinya *Hotspot* Menggunakan *Thermography*

Kondisi suhu abnormal pada terminasi kabel koneksi MV *switchgear* 6.3 kV dalam mendistribusikan energi listrik ke beban-beban di Wilayah Kerja Pembangkit (WKP) mempengaruhi kinerja peralatan ketika dibiarkan dan menimbulkan kerusakan. Dilakukannya pengujian *infrared thermography* (IRT) dengan standar NEMA yang dibantu metode *Fishbone* dapat mengevaluasi kondisi suhu abnormal kabel koneksi MV *switchgear* 6.3 kV. Berdasarkan hasil pengujian, kenaikan suhu abnormal bernilai 11,5°C yaitu pada panel UMVB *Hot Well Pump* (HWP) A sehingga dilakukan *monitoring* berkelanjutan. Hasil *monitoring* selama sebulan, kenaikan suhu abnormal terjadi setiap minggunya. Termogram menunjukkan kenaikan suhu abnormal disebabkan adanya *hotspot* yang terletak antara *connector* (skun) dan konduktor kabel. Solusi dari permasalahan yaitu mengganti *connector* dengan jenis bahan lebih baik dalam hal sifat konduktivitas, resistansi, dan pembuangan panas.

Kata kunci:

Infrared Thermography (IRT), Abnormal, Termogram, Connector

ABSTRACT

Andika Roby Wiyanda

Teknik Elektro

Evaluation of 6.3 kV Medium Voltage Switchgear Cable Termination Result Hotspots Using Thermography

Abnormal temperature conditions at the termination of the 6.3 kV MV switchgear connection cable in distributing electrical energy to loads in the Power Plant Working Area (WKP) affect the performance of the equipment when left unattended and cause damage. Carrying out infrared thermography (IRT) testing with NEMA standards assisted by the Fishbone method can evaluate abnormal temperature conditions of 6.3 kV MV switchgear connection cables. Based on the test results, the abnormal temperature increase was 11.5°C, namely on the UMVB Hot Well Pump (HWP) A panel so continuous monitoring was carried out. The results of monitoring for a month showed that abnormal temperature increases occurred every week. The thermogram shows an abnormal temperature increase due to a hotspot located between the connector (skun) and cable conductor. The solution to the problem is to replace the connector with a type of material that is better in terms of conductivity, resistance and heat dissipation properties.

Keywords:

Infrared Thermography (IRT), Abnormal, Thermogram, Connector

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PRAKATA	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Sistem Tenaga Listrik	7
2.2 Kubikel.....	7
2.3 Jenis-jenis Kubikel.....	8
2.4 Komponen-komponen Kubikel.....	10
2.4.1 Kompartemen	10
2.4.2 Rel/busbar	10
2.4.3 Kontak Pemutus.....	11
2.4.4 Sirkuit Pembumian	11
2.4.5 Pemisah Hubung Tanah.....	12
2.4.6 Terminal Penghubung.....	12
2.4.7 <i>Fuse Holder</i>	13
2.4.8 Mekanik Kubikel	13
2.4.9 Lampu Indikator	14
2.4.10 Pemanas (<i>Heater</i>)	14

2.4.11	<i>Handle</i> Kubikel (Tuas Operasi).....	15
2.4.12	Sistem <i>Interlock</i> dan Pengunci	15
2.5	<i>Infrared Thermography</i>	16
2.6	Ketidakseimbangan Beban.....	19
2.7	Kamera Inframerah (<i>Thermal Imager</i>)	19
2.8	<i>Software FLIR Thermal Studio</i>	21
2.9	Penelitian Terdahulu	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		23
3.1	Diagram Alir Penelitian	23
3.2	Komponen Penelitian.....	24
3.3	Metode Penelitian	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		29
4.1	Metode Pengidentifikasi Masalah Menggunakan Diagram <i>Fishbone</i>	29
4.2	Rangkaian Sistem Panel MV <i>Switchgear</i> Transmisi 6.3 kV	32
4.3	Hasil dan Pembahasan	33
4.3.1	Pengujian <i>Thermography</i> Sebelum <i>Monitoring</i>	34
4.3.2	<i>Monitoring</i> Pengujian <i>Thermography</i>	35
4.4	Solusi Permasalahan	49
BAB V PENUTUP.....		50
5.1	Kesimpulan	50
5.2	Saran	50
DAFTAR PUSTAKA		51
Lampiran A Perhitungan Nilai Ketidakseimbangan Tegangan		A-1
Lampiran B Perhitungan Nilai Ketidakseimbangan Arus.....		B-1
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography Incoming</i> UMVB (F2) <i>Connection S-T</i> Januari 2023.....		C-1
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP A (F8) <i>Connection S-T</i> Minggu ke-3 Maret 2023 (Pengujian 1)		C-2
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography Incoming</i> UMVB (F1) <i>Connection R-S</i> Februari 2023.....		C-3
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography Incoming</i> UMVB (F1) <i>Connection S-T</i> Februari 2023.....		C-4

Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography Incoming</i> UMVB (F2) <i>Connection R-S</i> Februari 2023.....	C-5
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography Incoming</i> UMVB (F2) <i>Connection S-T</i> Februari 2023.....	C-6
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography Incoming</i> UMVB (F3) <i>Connection R-S</i> Februari 2023.....	C-7
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography Incoming</i> UMVB (F3) <i>Connection S-T</i> Februari 2023.....	C-8
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB LRVP B (F7) <i>Connection R-S</i> Februari 2023.....	C-9
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB LRVP B (F7) <i>Connection S-T</i> Februari 2023.....	C-10
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP A (F8) <i>Connection R-S</i> Februari 2023.....	C-11
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP A (F8) <i>Connection S-T</i> Februari 2023.....	C-12
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP B (F9) <i>Connection R-S</i> Februari 2023.....	C-13
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP B (F9) <i>Connection S-T</i> Februari 2023.....	C-14
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB CT A (F10) <i>Connection R-S</i> Februari 2023.....	C-15
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB CT A (F10) <i>Connection S-T</i> Februari 2023.....	C-16
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB CT B (F11) <i>Connection</i> <i>R-S</i> Februari 2023.....	C-17
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB CT B (F11) <i>Connection</i> <i>S-T</i> Februari 2023.....	C-18
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB CT C (F12) <i>Connection</i> <i>R-S</i> Februari 2023.....	C-19
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB CT C (F12) <i>Connection</i> <i>S-T</i> Februari 2023.....	C-20

Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB CT D (F13) <i>Connection</i> R-S Februari 2023.....	C-21
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB CT D (F13) <i>Connection</i> S-T Februari 2023.....	C-22
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB CT E (F14) <i>Connection</i> R-S Februari 2023	C-23
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB CT E (F14) <i>Connection</i> S-T Februari 2023	C-24
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB <i>Raw Water</i> (F18) <i>Connection</i> R-S Februari 2023.....	C-25
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB <i>Raw Water</i> (F18) <i>Connection</i> S-T Februari 2023.....	C-26
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB <i>Steamfield</i> (F19) <i>Connection</i> R-S Februari 2023.....	C-27
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB <i>Steamfield</i> (F19) <i>Connection</i> S-T Februari 2023.....	C-28
Lampiran D <i>Single Line Diagram</i> (SLD) Sistem Transmisi MV <i>Switchgear</i> 6.3 Kv	D-1
Lampiran E Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP A (F8) Maret Minggu ke-1 <i>Phase</i> R-S.....	E-1
Lampiran E Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP A (F8) Maret Minggu ke-1 <i>Phase</i> S-T.....	E-2
Lampiran E Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP A (F8) Maret Minggu ke-2 <i>Phase</i> R-S.....	E-3
Lampiran E Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP A (F8) Maret Minggu ke-2 <i>Phase</i> S-T.....	E-4
Lampiran E Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP A (F8) Maret Minggu ke-3 <i>Phase</i> R-S.....	E-5
Lampiran E Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP A (F8) Maret Minggu ke-3 <i>Phase</i> S-T.....	E-6
Lampiran E Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP A (F8) Maret Minggu ke-4 <i>Phase</i> R-S.....	E-7

Lampiran E Hasil Pengujian *Thermography* UMVB HWP A (F8) Maret Minggu
ke-4 *Phase S-T* E-8

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Panel Kubikel	8
Gambar 2.2 Spektrum Gelombang Elektromagnetik	16
Gambar 2.3 Skema <i>Infrared Thermography</i>	17
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	23
Gambar 3.2 <i>Thermal Imager</i> FLIR T530.....	25
Gambar 3.3 <i>Thermal Window</i> IRW-4C	26
Gambar 3.4 Diagram <i>Fishbone</i>	28
Gambar 4.2 Termograms Minggu ke-3, (a) Percobaan 1, dan (b) Percobaan 2	30
Gambar 4.3 Terminasi Kabel Koneksi Panel Kubikel	31
Gambar 4.4 SLD Sistem Transmisi MV <i>Switchgear</i> 6.3 kV	33
Gambar 4.5 Grafik Hasil <i>Monitoring</i> Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP A (F8) Perminggu <i>Phase</i> R-S dan S-T.....	39
Gambar 4.6 Termograms Pengujian <i>Thermography</i> pada Terminasi Kabel Koneksi Panel UMVB HWP A Minggu ke-1, (a) <i>Phase</i> R-S, dan (b) <i>Phase</i> S-T40	
Gambar 4.7 Grafik <i>Range</i> Pengukuran Panas Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP A Minggu ke-1, (a) <i>Phase</i> R-S, (b) <i>Phase</i> S-T	41
Gambar 4.8 Termograms Pengujian <i>Thermography</i> pada Terminasi Kabel Koneksi Panel UMVB HWP A Minggu ke-2, (a) <i>Phase</i> R-S, dan (b) <i>Phase</i> S-T42	
Gambar 4.9 Grafik <i>Range</i> Pengukuran Panas Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP A Minggu ke-2, (a) <i>Phase</i> R-S, (b) <i>Phase</i> S-T	44
Gambar 4.10 Termograms Pengujian <i>Thermography</i> pada Terminasi Kabel Koneksi Panel UMVB HWP A Minggu ke-3, (a) <i>Phase</i> R-S, dan (b) <i>Phase</i> S-T45	
Gambar 4.11 Grafik <i>Range</i> Pengukuran Panas Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP A Minggu ke-3, (a) <i>Phase</i> R-S, (b) <i>Phase</i> S-T	46
Gambar 4.12 Termograms Pengujian <i>Thermography</i> pada Terminasi Kabel Koneksi Panel UMVB HWP A Minggu ke-4, (a) <i>Phase</i> R-S, dan (b) <i>Phase</i> S-T47	
Gambar 4.13 Grafik <i>Range</i> Pengukuran Panas Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP A Minggu ke-4, (a) <i>Phase</i> R-S, (b) <i>Phase</i> S-T	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Temperature Rise</i> dan Nilai <i>Standard of Thermography Inspection</i> FLIR	19
Tabel 3.1 Data Spesifikasi Panel Kubikel.....	25
Tabel 3.2 Spesifikasi Singkat <i>Thermal Imager</i> FLIR T530.....	26
Tabel 3.3 Spesifikasi Singkat <i>Thermal Window</i> IRW-4C	27
Tabel 3.4 <i>Temperature Rise</i> dan Nilai <i>Standard of Thermography Inspection</i> FLIR	27
Tabel 4.1 Data Sekunder Hasil Pengujian <i>Thermography</i> Bulan Februari.....	34
Tabel 4.2 Hasil <i>Monitoring</i> Pengujian <i>Thermography</i> Panel UMVB <i>Hot Well</i> <i>Pump</i> (HWP) A (F8)	36
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Tegangan Panel Kubikel UMVB HWP A ketika Pengujian <i>Thermography</i>	37
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Arus Panel Kubikel UMVB HWP A ketika Pengujian <i>Thermography</i>	38

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa bagian yang saling terhubung dan terintegrasi dalam menyalurkan energi listrik mulai dari pembangkit ke pusat-pusat beban. Pada penyaluran energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit sebagian didistribusikan ke konsumen melalui jaringan Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan sebagian didistribusikan untuk operasional peralatan kelistrikan penunjang proses pembangkitan energi listrik. Dalam proses pembangkitan energi listrik memerlukan suplai energi listrik secara berkelanjutan, sehingga dalam operasional peralatan kelistrikan perlu dilakukan pemeliharaan dan evaluasi guna mencegah terjadinya kegagalan [1]. Diantara peralatan kelistrikan yang digunakan dalam penyaluran energi listrik terdapat salah satu peralatan kelistrikan yang sering mengalami kerusakan yaitu MV *switchgear* atau gabungan dari beberapa panel kubikel. MV *switchgear* yang merupakan gabungan dari beberapa kubikel ialah suatu peralatan kelistrikan yang berfungsi sebagai pengendali, penghubung, dan pelindung serta pembagi tenaga listrik dari sumber ke pusat-pusat beban. Kubikel merupakan istilah umum yang mencakup peralatan *switching* dan kombinasinya dengan peralatan kontrol, pengukuran dan proteksi sistem tenaga listrik [2].

Terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan akibat kerusakan pada panel distribusi. Salah satu dari faktor tersebut yaitu adanya degradasi material yang disebabkan oleh beban besar yang melewati suatu konduktor secara berkelanjutan maka akan membuat konduktor seperti kabel menjadi panas dan jika dibiarkan lama kelamaan akan meleleh dan atau rusak [3]. Data PLN menunjukkan bahwa sepanjang tahun 2019 terdapat 59.673 kasus gangguan distribusi yang terjadi di Indonesia dengan rasio susut energi pada distribusi besar 7,24%. Hal ini menunjukkan bahwa gangguan yang terjadi pada peralatan jaringan distribusi listrik tidak hanya akan menghambat proses pendistribusian energi listrik namun juga akan berpengaruh pada kerugian finansial yang besar akibat susut energi serta biaya perbaikannya [4].

Dalam proses pendistribusian energi listrik yang dilakukan secara terus menerus akan menimbulkan panas dan jika dibiarkan maka panas yang dihasilkan akan berlebih sehingga suhu yang dihasilkan oleh komponen listrik seperti terminasi kabel akan mengalami ketidaknormalan yang terjadi pada satu titik panas (*hotspot*) [5]. *Hotspot* merupakan titik panas yang timbul pada satu atau beberapa titik tepatnya pada komponen-komponen seperti panel kubikel yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan sehingga menimbulkan kerusakan atau lelehan pada komponen tersebut, hal ini jika dibiarkan akan menimbulkan dampak kerugian baik secara material maupun ekonomi [6]. Dengan mengetahui titik panas dan perubahan suhu yang terjadi merupakan peranan penting untuk dilakukan diagnosis sejak awal pada terminasi kabel koneksi panel kubikel *medium voltage* untuk mencegah terjadinya kegagalan operasi jaringan listrik [7]. Selain itu perlu dilakukan analisa sebab dan akibat dengan menggunakan metode *fishbone* yang merupakan metode untuk menganalisa penyebab dari sebuah permasalahan atau kondisi dan faktor kuncinya. Diagram ini digunakan untuk mengidentifikasi penyebab dari permasalahan dan mendapatkan gagasan yang tepat sebagai solusi dalam pemecahan masalah yang terjadi agar permasalahan tidak terjadi secara berulang [8].

Penggunaan *thermal imager* dalam mendeteksi gangguan peralatan kelistrikan ketika melakukan pendistribusian tenaga listrik sudah banyak digunakan karena kemudahan dan keefektifan dalam menentukan letak terjadinya gangguan, sehingga tindakan perbaikan dapat segera dilakukan pada titik yang tepat. Alat ini merupakan alat uji tak merusak atau *Non-Destructive Testing* (NDT) yang dapat mendeteksi pancaran radiasi objek secara langsung melalui medium udara. Banyaknya pancaran radiasi objek benda yang meningkat sesuai dengan meningkatnya suhu [9]. NDT mengacu pada penilaian evaluasi dan proses inspeksi material atau komponen untuk menemukan cacat dan kekurangan dibandingkan dengan standar yang digunakan tanpa mengubah atau merusak objek yang sedang diuji. Dengan kata lain, metode NDT dapat digunakan untuk mengetahui kondisi objek benda secara berkala tanpa harus menyentuh objek yang diamati. Oleh karena itu tepat penggunaan alat *thermal imager* dalam melakukan pengujian *thermography* [10].

Pengujian *thermography* didasarkan pada kenyataan bahwa komponen kelistrikan yang beroperasi secara berkala akan menunjukkan peningkatan suhu. Pengujian *thermography* dapat mengidentifikasi objek dengan kondisi normal ataupun dalam kondisi tidak normal. Apabila objek benda yang mengalami suhu abnormal akan menghasilkan visual thermal (termograms) yang lebih terang daripada titik lainnya [11]. Pengujian *thermography* sudah banyak digunakan dalam perindustrian, namun referensi pada bidang kelistrikan masih sedikit. Penerapan pengujian *infrared thermography* dilakukan dengan cara memindai (*scanning*) pada objek benda yang dituju lalu selanjutnya dilihat pola distribusi panas (termograms) dan hasil temperatur yang dihasilkan. Banyaknya pancaran energi panas (radiasi) yang dihasilkan dipengaruhi oleh transmisi, suhu, dan rasio energi yang diradiasikan oleh objek benda antara sensor kamera inframerah dengan objek. Cara ini cukup efektif dalam mengidentifikasi terjadinya permasalahan ataupun kerusakan yang terjadi lebih awal pada peralatan kelistrikan jaringan distribusi sehingga dapat diambil tindakan segera [12].

Pengujian *thermography* dilakukan melalui *thermal window* yang terletak pada bagian belakang lemari panel untuk *monitoring* terminasi kabel koneksi pada tiap-tiap panel yang terhubung langsung dari busbar ke pusat-pusat beban. Tujuan dari adanya *thermal window* yaitu untuk memudahkan *monitoring* tanpa harus membuka lemari panel. Hal ini dikarenakan membuka *cover* lemari panel untuk melakukan pengujian *thermography* dapat membahayakan karena *monitoring* perlu dilakukan pada jarak yang dekat untuk menghasilkan gambar yang akurat sedangkan panel dalam kondisi beroperasi atau bertegangan yang dapat memicu terjadinya *arc flash* [13]. Berdasarkan penelitian sebelumnya, melakukan pengujian *thermography* bertujuan untuk mengetahui kondisi peralatan distribusi energi listrik yang digunakan secara berkelanjutan. Penelitian yang dilakukan pada jaringan kabel listrik UNNES, didapatkan hasil suhu abnormal terjadi pada terminasi fasa panel trafo dengan kenaikan sebesar 30.5°C [14] dan penelitian pengujian *thermography* pada fasilitas sarana dukung IEBE yang mendapatkan hasil suhu abnormal pada MCCB kabel pompa skunder-8 dengan suhu tertinggi 95.7°C dan terendah 33.3°C serta kontaktor CDT.5 dengan suhu tertinggi 88.1°C dan terendah 27.4°C [15].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya sebagian besar suhu abnormal yang terjadi pada objek yang diteliti terdapat pada kabel koneksi dan juga *connector* sebagai penghubung. Kasus penelitian kali ini melakukan analisis terhadap kondisi panel kubikel yang terdapat pada MV *switchgear* transmisi 6.3 kV dengan menggunakan pengujian *thermography* untuk melihat besaran kenaikan suhu yang terjadi antar *phase*, pola distribusi panas yang terjadi, dan besaran nilai tegangan serta arus antar *phase* untuk dilakukan evaluasi penyebab terjadinya *hotspot* pada terminasi kabel koneksi panel yang selanjutnya dilakukan perbaikan terhadap permasalahan yang terjadi. Berdasarkan literatur sebelumnya, dilakukannya penelitian ini untuk mengevaluasi dan mengetahui bagian yang mengalami *hotspot* sehingga menyebabkan terjadinya kenaikan suhu abnormal serta dapat memberikan saran perbaikan yang dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan sehingga sistem jaringan distribusi tetap dalam keadaan normal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat diketahui rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana menentukan kondisi panel kubikel yang dalam keadaan normal dan abnormal?
2. Bagaimana mengidentifikasi *hotspot* yang terjadi pada panel kubikel menggunakan pengujian *thermography* pada terminasi kabel koneksi transmisi 6.3 kV di PT. Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha?
3. Bagaimana melakukan evaluasi perbaikan panel kubikel yang abnormal?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian berdasarkan rumusan masalah yaitu:

1. Dapat mendiagnosis panel kubikel yang mengalami kenaikan suhu normal dan abnormal berdasarkan standar *infrared thermography*.
2. Dapat menganalisis letak permasalahan pada terminasi kabel koneksi panel transmisi 6.3 kV di PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha.
3. Dapat menemukan solusi penanganan yang dilakukan terhadap permasalahan *hotspot* pada terminasi kabel koneksi.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi pendidikan, dapat memberikan wawasan tambahan dalam ilmu pengetahuan terkait metode pengujian *infrared thermography*.
2. Bagi akademisi, hasil dari penelitian mengenai pengujian *infrared thermography* pada panel kubikel dapat digunakan sebagai referensi dalam pengembangan penelitian selanjutnya mengenai pengujian *infrared thermography*.
3. Bagi perusahaan, mencegah terjadinya pemadaman listrik akibat kendala dalam penyaluran energi listrik.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ada pada penelitian ini yaitu:

1. Studi kasus dilakukan pada MV *switchgear* transmisi 6.3 kV pemakaian sendiri di PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Patuha.
2. Analisis data yang dilakukan hanya pada kondisi terminasi kabel koneksi panel kubikel transmisi 6.3 kV.
3. Pengujian *infrared thermography* pada terminasi kabel koneksi transmisi 6.3 kV menggunakan alat *thermal imager* FLIR T530 dengan pendekatan kondisi aktual.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan ini disusun menggunakan ketentuan yang ada dimana terdiri dari 5 bab, susunan tersebut antara lain:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang penjelasan mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan uraian teori yang menunjang untuk memperkuat dasar penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang metode penelitian, alur penelitian, instrumentasi penelitian, penentuan lokasi penelitian, metode kerja, dan jadwal penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil dari penelitian yang telah dilaksanakan beserta dengan analisis sesuai dengan batasan masalah serta solusinya.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran untuk pengembangan lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. R. Yuwono, “Analisis Overheating Pada Peralatan Listrik PHB-TR Gardu Distribusi di PT. PLN (PERSERO) ULP Depok Kota Menggunakan Termografi Inframerah,” Universitas Negeri Jakarta, 2021.
- [2] D. Denari and S. Azzahra, “Studi Hasil Pengukuran Partial Discharge Menggunakan Transient Earth Voltage Pada Kubikel 20kV PT PLN (Persero) Area Bulungan,” Institut Teknologi PLN, 2021.
- [3] A. Yanie, Y. Ananda, and L. Adriana Siregar, “Rancang Bangun Peralatan Deteksi Panas Kabel Pada Panel Listrik Untuk Mengatasi Beban Lebih,” *J. Electr. Technol.*, vol. 6, no. 2, pp. 51–52, 2021.
- [4] PT.PLN (PERSERO), *Perusahaan Listrik Negara*. Jakarta, 2019.
- [5] D. Fartika, “Menentukan dan Melihat Titik Hotspot Pada Tower 150 KV di Pasar Kemis Baru-Pasar Kemis Lama dengan Metode Thermovisi,” Institut Teknologi PLN, 2020.
- [6] A. Siswanto, R. Alfian, and E. Subyanta, “Analisis Kinerja PMS Rel 2 Bay Trafo 6 Menggunakan Thermovision Methode di Gardu Induk Sunyaragi,” *Foristek*, vol. 11, no. 2, pp. 114–121, 2021.
- [7] I. Ullah *et al.*, “Predictive maintenance of power substation equipment by infrared thermography using a machine-learning approach,” *Energies*, vol. 10, no. 12, 2018, doi: 10.3390/en10121987.
- [8] O. Yakarimilena, “Analisis Kontribusi Kerusakan Boiler Terhadap Kegagalan Proses Produksi di PT. Perkebunan Nusantara II Kebun Arso Menggunakan Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) dan Fishbone Diagram,” Universitas Internasional Semen Indonesia, 2019.
- [9] S. Wahyudi, A. Asni, and A. F. S. Rahman, “Evaluasi Citra Kerusakan pada Panel Distribusi Listrik Tegangan Rendah Berdasarkan Termografi Inframerah,” *JTE UNIBA*, vol. 03, no. 02, pp. 45–53, 2019.
- [10] S. K. Dwivedi, M. Vishwakarma, and P. A. Soni, “Advances and Researches on Non Destructive Testing: A Review,” *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 2, pp. 3690–3698, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2017.11.620.

- [11] Hamdi and J. D. L. Aji, "Modifikasi Cover Menjadi Infrared Window Motor 362-Md1 Untuk Inspeksi Thermograph," *Politeknologi*, vol. 17, no. 3, pp. 283–284, 2018.
- [12] A. Mahmudi and P. Raharjo, "Karakteristik Penyebaran Panas pada Sistem Transmisi Roda Gigi dengan Termografi," *ROTASI*, vol. 22, no. 2, pp. 127–132, 2020.
- [13] F. Ichwan, "Rancangan Modifikasi MV Switchgear Cement Mill Substation Dilengkapi Infrared Windows pada PT Solusi Bangun Andalas," 2022.
- [14] E. B. A. Kartono, Agus Suryanto, "Pemanfaatan Teknologi Infrared Thermography Untuk Deteksi Dini Kegagalan Isolasi Jaringan Kabel Listrik UNNES," *J. Sainteknol*, vol. 15, pp. 157–172, 2018.
- [15] A. Paid, Kusyanto, E. Y. Rustanto, and Suhatno, "Pemantauan Thermography Inframerah Dalam Pemeliharaan Instalasi Listrik Fasilitas Sarana Dukung IEBE," *J. Batan*, vol. 10, no. 18, p. 2, 2018.
- [16] Machfudiah, "Analisis Aliran Daya Sistem Distribusi Radikal Dengan Metode Topology Network Berbasis Graphical User Interface (GUI) Matlab," Universitas Bhayangkara Surabaya, 2019.
- [17] S. R. Sandika, "Analisis Penggunaan Metode Minim Padam Pada Penggantian Kubikel 20 kV Untuk Mengurangi ENS (Energy Not Supplied) di PT.PLN (Persero) Area Bulungan," Institut Teknologi PLN, 2020.
- [18] M. S. Alvarez-Alvarado *et al.*, "Power System Reliability and Maintenance Evolution: A Critical Review and Future Perspectives," *J. IEEE Access*, vol. 10, pp. 51922–51950, 2022.
- [19] M. FIRMANSYAH, "Tugas Akhir Analisis Automatic Transfert System Medium Voltage 20kV di Pelindo 1 Cabang Belawan," Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, 2020.
- [20] M. K. Rohman, "Sistem Panel Tegangan Menengah (Kubikel) PT. Bima Golden Powerindo," Politeknik Bengkalis Riau, 2021.
- [21] J. M. Tambunan and A. W. Munajich, "Proses Perakitan dan Pengujian Kubikel SM6 Vacuum Circuit Breaker 20 kV di PT . Galleon Cahaya Investama," *J. Ilm.*, vol. 10, no. 1, pp. 46–49, 2018.

- [22] M. Kartika and I. A. Bangsa, "Pemeliharaan Preventif Kubikel CBOG 20 kV di PT PLN (Persero) UP3 Bekasi UID Jawa Barat," *J. JE-UNISLA*, vol. 7, no. 2, pp. 63–68, 2022.
- [23] M. Hasyim, Abriansyah and Rizal, "Analisis Penggunaan Cubicle 20kV Double Incoming Dengan Automatic Transfer Switch (ATS) dalam Sistem Jaringan Distribusi 20 kv Di Bandara Internasional Sultan Hasanuddin," Universitas Muhammadiyah Makassar, 2019.
- [24] M. H. Nasution, "Analisis Terjadinya Korona Melalui Uji Tegangan Tembus Pada Sistem Tenaga Listrik Kubikel 20 KV," Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, 2018.
- [25] M. A. H. Sopyan, "Pengujian Tahanan Isolasi Kubikel 20 kV," Institut Teknologi PLN, 2021.
- [26] G. K. Balakrishnan *et al.*, "A Review of Infrared Thermography for Condition-Based Monitoring in Electrical Energy: Applications and Recommendations," *J. Energies*, vol. 15, no. 16, pp. 2–37, 2022, doi: 10.3390/en15166000.
- [27] S. Z, A. Mayub, and M. Farid, "Menghitung Nilai Emisivitas Warna Menggunakan Miniatur Ruang Berbentuk Silinder Sebagai Media Pembelajaran Fisika," *PENDIPA J. Sci. Educ.*, vol. 2, no. 2, pp. 135–141, 2018.
- [28] A. Mouahid, "Infrared Thermography Used for Composite Materials," in *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 191, p. 3. doi: 10.1051/mateconf/201819100011.
- [29] Sardjito and N. Yuningsih, "Comparison of Newton Correction Between Joule's Law Experiment and Ice Heat of Fusion Experiment," in *Proceedings of the 2nd International Seminar of Science and Applied Technology (ISSAT 2021)*, 2021, vol. 207, pp. 53–57. doi: 10.2991/aer.k.211106.009.
- [30] Aldiansyah, "Monitoring Ketidakseimbangan Beban Transformator Distriusi dengan Teknologi IoT (Internet Of Things)," Universitas Lampung, 2022.

- [31] R. A. Osornio-Rios, J. A. Antonino-Daviu, and R. D. J. Romero-Troncoso, “Recent Industrial Applications of Infrared Thermography : A Review,” *J. IEEE Trans. Ind. INFORMATICS*, pp. 1551–3203, 2018, doi: 10.1109/TII.2018.2884738.
- [32] S. Amalia, R. Andari, and E. Azhari, “Analisa Pengecekan Peralatan Arrester Menggunakan Thermovisi pada Bay Indarung 1 Gardu Induk Pauh Limo,” *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 9, no. 1, pp. 1–5, 2020, doi: 10.21063/JTE.2020.3133901.
- [33] M. L. Fazawi, “Analisa Penentuan Hot Point dan Monitoring Peralatan dengan Metode Thermovisi Pada GI 150 kV Glugur,” Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, 2020.