

**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 sidang Skripsi di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon dan dinyatakan LULUS

Dewan Penguji

Tanda Tangan

Pembimbing I : Dr. Suhendar, S.Pd., M.T.

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 Alfanz, 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 R-S</i> Februari 2023.....	C-21
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB CT D (F13) <i>Connection S-T</i> Februari 2023.....	C-22
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB CT E (F14) <i>Connection R-S</i> Februari 2023	C-23
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB CT E (F14) <i>Connection S-T</i> Februari 2023	C-24
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB <i>Raw Water</i> (F18) <i>Connection R-S</i> Februari 2023.....	C-25
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB <i>Raw Water</i> (F18) <i>Connection S-T</i> Februari 2023.....	C-26
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB <i>Steamfield</i> (F19) <i>Connection R-S</i> Februari 2023.....	C-27
Lampiran C Form Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB <i>Steamfield</i> (F19) <i>Connection S-T</i> 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 R-S</i>	E-1
Lampiran E Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP A (F8) Maret Minggu ke-1 <i>Phase S-T</i>	E-2
Lampiran E Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP A (F8) Maret Minggu ke-2 <i>Phase R-S</i>	E-3
Lampiran E Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP A (F8) Maret Minggu ke-2 <i>Phase S-T</i>	E-4
Lampiran E Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP A (F8) Maret Minggu ke-3 <i>Phase R-S</i>	E-5
Lampiran E Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP A (F8) Maret Minggu ke-3 <i>Phase S-T</i>	E-6
Lampiran E Hasil Pengujian <i>Thermography</i> UMVB HWP A (F8) Maret Minggu ke-4 <i>Phase R-S</i>	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-T	40
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-T	42
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-T	45
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-T	47
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.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah sekumpulan dari pusat listrik (pembangkit) dan pusat beban yang secara teratur saling terhubung melalui jaringan transmisi dan distribusi sehingga menjadi satu kesatuan interkoneksi [16]. Dalam sistem tenaga listrik terdiri dari empat unsur, yaitu pembangkit, transmisi, distribusi, dan penggunaan tenaga listrik (beban). Energi listrik dibangkitkan di pusat tenaga listrik seperti PLTU, PLTA, PLTN, PLTG dan PLTD lalu disalurkan melalui transmisi dengan jarak yang jauh ke pusat-pusat pemakaian tenaga listrik [17]. Dalam sistem tenaga listrik, kehandalan pada peralatan mengacu pada kemampuan alat untuk mampu memberikan pelayanan yang berkesinambungan dan mampu memenuhi kebutuhan listrik. Sistem tenaga listrik dapat dikatakan handal jika memenuhi kecukupan dan keamanan dalam pelaksanaannya [18].

2.2 Kubikel

Panel listrik (kubikel) merupakan seperangkat panel hubung bagi dengan penggunaan tegangan kerja biasanya berkisar antara 6.000 sampai dengan 20.000 Volt. Kubikel terpasang pada gardu induk dengan fungsi sebagai pembagi, pemutus, penghubung, pengontrol dan proteksi pada sistem penyalur tenaga listrik ke pusat-pusat beban, peralatan tersebut dirancang saling terkait antara komponen satu dengan komponen lainnya [19]. Sesuai IEC 298:1990 kubikel dimaksudkan sebagai perlengkapan hubung bagi dan kontrol dengan berbahan logam yang dirakit pabrik untuk menghasilkan arus bolak balik dengan tegangan pengenal diatas 1 kV sampai dengan dan termasuk 35 kV, untuk pasangan dalam dan pasangan diluar, dan untuk frekuensi sampai 50 Hz [20]. Pada kubikel terdapat kompartemen berupa rumah dari terminal penghubung, LBS, PMT, PMS, *fuse*, serta trafo ukur seperti CT dan PT. Hal ini menjadikan kubikel aman untuk disentuh ketika operator kontak langsung dengan bagian-bagian yang bertegangan [21]. Adapun gambar kubikel tertera pada gambar 2.1 sebagai berikut.



Gambar 2.1 Panel Kubikel [22].

Dalam proses penerapannya, kubikel memiliki beberapa jenis dan komponen didalamnya dimana masing-masing jenis tersebut mempunyai fungsi dan peran yang berbeda-beda yang akan dibahas pada subbab berikut.

2.3 Jenis-jenis Kubikel

Berdasarkan nama dan fungsi peralatan kubikel yang terpasang, kubikel digunakan dengan menyesuaikan kebutuhan akan fungsi dalam pengoperasiannya sehingga dalam penempatannya kubikel dapat berjalan dengan baik. Kubikel dapat dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu sebagai berikut.

1. Kubikel *Incoming*

Kubikel *incoming* memiliki fungsi untuk menghubungkan tegangan pada sisi sekunder trafo daya ke busbar 20 kV [23].

2. Kubikel PMT (Pemutus Tenaga)

Kubikel PMT memiliki fungsi untuk membuka dan menutup arus listrik baik dalam keadaan berbeban ataupun tidak berbeban, selain itu dapat memutus ketika terjadi gangguan hubung singkat [24].

3. Kubikel PMS (Pemisah)

Kubikel PMS memiliki fungsi untuk membuka dan menutup aliran listrik 20 kV tanpa adanya beban, hal ini dikarenakan kontak penghubung tidak dilengkapi dengan alat peredam busur listrik [24].

4. Kubikel LBS (*Load Break Switch*)

Kubikel LBS memiliki fungsi untuk membuka dan menutup aliran arus listrik pada kondisi berbeban ataupun tidak. Pada komponen kubikel LBS tidak dilengkapi dengan media pemadam busur api, sehingga diharuskan terdapat ruang yang cukup dan penunjang kabel bagian bawah kubikel untuk melakukan pemasangan terminasi kabel berisolasi padat [24].

5. Kubikel CB *Out Metering* (PMT)

Kubikel *CB Out Metering* memiliki fungsi untuk memutus dan menghubungkan arus listrik dengan cepat ketika dalam keadaan normal ataupun adanya gangguan. Kubikel ini biasa disebut dengan istilah kubikel PMT (pemutus tenaga) yang dilengkapi dengan *relay* proteksi *circuit breaker* (PMT, CB) dan berfungsi juga sebagai alat pembatas, pengukuran dan pengaman [24].

6. Kubikel TP (*Transformer Protection*)

Kubikel TP memiliki fungsi untuk pengaman pada transformator distribusi atau disebut kubikel PB (Pemutus Beban). Kubikel ini terdapat lbs dan *fuse* pengaman trafo dengan beberapa ukuran diantaranya 25 A, 32 A, 43 A [24]. Terdapat dua jenis kubikel TP yaitu:

- a. Kubikel TP dengan *shunt trip*, ketika *fuse* tm putus ada pin pada *fuse* yang dapat menggerakkan mekanik untuk dapat melepas LBS.
- b. Kubikel TP tanpa *shunt trip*, jika *fuse* tm putus maka LBS tidak bisa membuka dan trafo terjadi gangguan dari *fuse* lain yang tidak putus [24].

7. Kubikel PT (*Potensial Transformer*)

Kubikel PT memiliki fungsi sebagai pengukur dimana didalam kubikel ini terdapat pms dan transformator tegangan yang dapat menurunkan tegangan mula 20.000 Volt diubah menjadi 100 Volt untuk mensuplai tegangan pada alat ukur kwh atau disebut kubikel VT (*Voltage Transformer*) [24].

8. Kubikel Terminal *Outgoing* (B1)

Kubikel ini memiliki fungsi sebagai terminal penghubung antara kabel dan pelanggan dimana didalamnya berisi pms dan ketika posisi terbuka maka kontak gerak terhubung dengan pentanahan. Pada kubikel *outgoing* terdapat *Circuit Breaker* (CB) yang digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan arus listrik sesuai dengan ratingnya [24].

2.4 Komponen-komponen Kubikel

Dalam kubikel komponen disesuaikan dari jenis dan syarat penggunaannya, adapun komponen-komponen yang terdapat pada kubikel antara lain.

2.4.1 Kompartemen

Kompartemen merupakan bagian terpenting pada kubikel dikarenakan kompartemen adalah rumah dari terminal penghubung, LBS, PMT, PMS, *fuse*, trafo ukur, CT, dan PT yang merupakan peralatan mekanis dan instalasi tegangan rendah. Peralatan tersebut dapat mencegah terjadinya bahaya pada operator terhadap adanya sentuhan ke bagian yang bertegangan. Kompartemen berupa lemari atau kotak yang terbuat dari pelat baja terbagi menjadi dua, dimana pada bagian atas difungsikan untuk busbar dan pada bagian bawah berfungsi sebagai penyambung dengan terminasi kabel [25].

Peletakan komponen posisi bawah pada bagian depan merupakan pintu yang dapat dibuka jika tegangan sudah dalam keadaan bebas dan terminasi kabel telah ditanahkan. Pada saat inspeksi rutin biasanya bagian belakang lemari dilepas untuk dilakukan *monitoring*. Komponen didalam lemari disusun secara baik agar tidak mudah terjadinya kerusakan akibat jarak yang berdekatan[25].

2.4.2 Rel/busbar

Komponen busbar adalah komponen yang memiliki fungsi untuk mengumpulkan tenaga listrik dengan tegangan 20 kV kemudian membaginya ke komponen selanjutnya yang diperlukan. Busbar yang berfungsi sebagai rel penghubung pada umumnya berada pada bagian atas kubikel sebagai penghubung antara kubikel satu dengan lainnya. Biasanya pada kubikel jenis RMU (*Ring Main Unit*) pada rel bertegangan 20 kV terdapat didalam tabung SF6 *vacum* [25].

Rel busbar terdiri dari dua bentuk yaitu ada yang bulat dan pipih, bahan dasar dalam pembuatan busbar harus menggunakan tembaga atau aluminium dimana pada busbar yang berbahan aluminium harus dilapisi dengan timah pada titik sambungannya. Selain itu ada busbar yang dilapisi dengan karet silikon yang berfungsi untuk memenuhi ketahanan pada tingkat isolasinya. Bahan pelapis yang digunakan pada busbar merupakan bahan yang tidak mudah terbakar [25].

2.4.3 Kontak Pemutus

Komponen kontak pemutus memiliki fungsi sebagai pemutus ataupun penghubung. Pada kontak pemutus aliran listrik terbagi menjadi dua bagian yaitu kontak gerak (*moving contact*) dan kontak tetap (*fixed contact*) yang memiliki fungsi sebagai peredam busur api. Kontak pemutus pada kubikel jenis LBS dan PMT digunakan dengan media minyak, gas SF₆ *vacum* ataupun dengan udara. Untuk memperkecil terjadinya busur api maka dilakukan pembukaan dan penutupan kontak pemutus secara cepat dan mekanis [25].

PMT berupa saklar digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan arus atau daya listrik sesuai ratingnya. Pada saat dilakukan pemutusan ataupun penghubungan maka arus atau daya listrik akan mengalami busur api listrik. Pemadaman busur api dapat dilakukan dengan bahan minyak, udara, dan gas [25].

2.4.4 Sirkuit Pembumian

Sirkuit pembumian digunakan untuk meletakkan semua bagian yang berbahan logam PHB bermuatan berbahaya yang bukan merupakan bagian dari sirkuit utama atau sirkuit baru untuk dihubungkan kedalam penghantar pembumian. Penghantar sirkuit pembumian terbuat dari tembaga yang mampu mengalirkan arus listrik sebesar 12,5 kA selama 1 detik sehingga tidak menimbulkan kerusakan. Kepadatan arus sirkuit pembumian tidak boleh melebihi batas sebesar 200 A/mm² dan melalui luas penampang penghantar tidak kurang dari 30 mm². Penghantar pembumian dirancang sedemikian rupa untuk memudahkan tangan mencapai terminal kabel. Selungkup kompartemen harus diletakkan secara terselubung pada satu titik dengan penghantar pembumian [25].

Kontinuitas penghantar pembumian pada peletakan didalam kubikel dipasang dengan sekat atau penutup yang dipasangkan melalui pemasangan baut dan mur. Jarak kontinuitas pembumian antara bagian bergerak yang berengsel dengan luas penampang tidak kurang dari 30 mm². Pada penghantar pembumian terdapat penguat yang ditambahkan pada pita dengan tujuan untuk melindungi anyaman pita dari tegangan mekanis yang tidak seharusnya. Bagian sakelar pada penghantar pembumian dihubungkan dengan penghantar utama pembumian melalui penghantar tembaga yang bersifat keras dan fleksibel dengan luas penampang yang tidak kurang dari 30mm² [25].

2.4.5 Pemisah Hubung Tanah

Pemisah (PMS) atau *disconnecting switch* (DS) merupakan komponen yang terdapat pada sistem tenaga listrik yang memiliki fungsi sebagai pengaman pada kubikel ketika tidak terdapat tegangan. Pemisah digunakan untuk menyatakan bahwa suatu peralatan listrik sudah bebas dari tegangan kerja. Komponen ini digunakan dengan menghubungkan terminal kabel ke tanah (*grounding*). Terhubungnya terminal kabel ke tanah bertujuan agar *engineers* pada bagian *maintenance* ketika bekerja pada bagian kubikel dapat terhindar dari kegagalan operasi akibat kabel terisi tegangan [25].

PMS tanah pada umumnya memiliki sistem *interlock* pada pintu kubikel dan mekanik LBS, dimana pintu tidak dapat terbuka jika PMS belum masuk, dan LBS tidak dapat masuk sebelum PMS tanah terbuka. Pemisah tanah pada kubikel terletak pada sisi kabel, sedangkan untuk mentanahkan pada sisi rel perlu dilakukan secara manual dengan *grounding* lokal. PMS tanah sisi kabel digunakan untuk membuang sisa muatan listrik [25]. Parameter PMS yang harus diperhatikan yaitu kemampuan mengalirkan arus yang ditentukan oleh besarnya penampang dua batang konduktor, kemampuan tegangan yang dapat dilihat dari kekuatan isolasinya, dan kemampuan menahan arus hubung singkat dimana arus hubung singkat berlipat kali arus nominalnya.

2.4.6 Terminal Penghubung

Sesuai namanya fungsi dari terminal penghubung adalah menghubungkan bagian-bagian kubikel yang memiliki tegangan antara satu dengan lainnya, terminal penghubung terbagi menjadi beberapa bagian antara lain.

- a. Terminal busbar, memiliki fungsi sebagai tempat dudukan busbar
- b. Terminal kabel, memiliki fungsi sebagai tempat menghubungkan kabel *incoming* dan *outgoing*
- c. Terminal PT, memiliki fungsi sebagai penyambung transformator tegangan untuk pengukuran
- d. Terminal CT, memiliki fungsi sebagai penyambung transformator arus untuk pengukuran [25].

2.4.7 Fuse Holder

Komponen *fuse holder* memiliki fungsi untuk menempatkan *fuse* pengamanan pada trafo di kubikel PB dan kubikel PT. *Fuse holder* bekerja dengan menahan sekering listrik. *Fuse holder* didesain dengan berbagai bentuk, disesuaikan dengan masing-masing yang dibutuhkan. Ukuran dan desain pada sekering dirancang langsung dengan jenis dan peringkat arus sekering yang dimaksudkan untuk dipegang [25].

Hampir semua rangkaian listrik akan mengalami peristiwa arus lebih yang berbahaya dan tidak terduga. Dalam keadaan berikut maka diperlukan adanya perlindungan rangkaian arus lebih untuk dapat menangani masalah tersebut dengan baik. Jika dudukan sekering meleleh namun sekering tidak putus secara otomatis, maka masalah terdapat pada dudukan sekering yang tidak melakukan kontak dengan baik dengan sekering. *Fuse holder* terbagi menjadi dua jenis yaitu terbuka dan tertutup sepenuhnya. *Fuse holder* dipasang dengan tiga tujuan utama yaitu dapat mengintegrasikan sekering dengan aman ke dalam sirkuit listrik, menjamin saluran arus kuat, dan memberikan kemudahan dalam mengganti sekering yang telah mengalami penurunan kualitas [25].

2.4.8 Mekanik Kubikel

Komponen mekanik kubikel memiliki fungsi sebagai penggerak dan perubah posisi baik membuka ataupun menutup pada kontak LBS, PMT, dan PMS. Selain itu komponen mekanik kubikel juga berfungsi sebagai pemisah hubung tanah yang dirancang sehingga ketika kontak terbuka dan tertutup pemutus dapat langsung bekerja dengan cepat. Bentuk komponen mekanik kubikel berukuran kecil dan terletak pada bagian samping kubikel yang dapat dijangkau secara langsung oleh tangan [25].

Mekanik kubikel dirancang dengan bentuk desain yang baik dengan tujuan agar dapat memudahkan saat melakukan *maintenance* dalam pengoperasiannya. Ketika arus listrik perlu dialirkan maka mekanik kubikel akan menutup kontak. Sedangkan ketika ingin memutus arus maka kontak akan tertutup. Hal ini dapat memastikan bahwa ketika melakukan *maintenance*, peralatan kelistrikan yang ingin dilakukan *maintenance* dalam keadaan beroperasi atau tidak beroperasi [25].

2.4.9 Lampu Indikator

Lampu indikator akan menyala apabila terdapat arus kapasitif yang dihasilkan oleh kapasitor pembagi. Hal ini menunjukkan bahwa fungsi dari lampu indikator yaitu untuk menandai adanya tegangan masuk pada sisi kabel baik yang berasal dari sisi lain kabel ataupun dari busbar yang berfungsi sebagai alat penghubung komponen. Dalam pengoperasiannya, biasanya lampu indikator yang terdapat pada kubikel jenis PMT digunakan untuk membedakan posisi alat penghubungnya menjadi dua warna yang berbeda untuk menandai posisi masuk dan keluar [25].

Lampu indikator dapat menyala dikarenakan adanya suplai arus listrik melalui sumber arus searah (DC) yang dihubungkan dengan kontak bantu untuk dapat memproses secara bersamaan melalui sistem kerja poros penggerak alat hubung utamanya. Lampu indikator *on/off* pada PMT digunakan untuk menandai kondisi PMT dalam keadaan *close* atau *open* yang dibedakan dengan dua warna (merah atau hijau). Perbedaan lampu berfungsi untuk mempermudah dalam pengoperasiannya [25].

2.4.10 Pemanas (*Heater*)

Pemanas memiliki fungsi pada umumnya yaitu untuk memanaskan, namun pada komponen kubikel berfungsi untuk memanaskan ruang terminal kabel untuk dapat menjaga kelembabannya tetap dalam keadaan normal. Adanya pemanas ini diharapkan dapat mengurangi terjadinya efek korona yang muncul pada kubikel akibat terdapatnya kelembaban pada komponen kelistrikan, besar tegangan pemanas yang diperlukan dalam memanaskan ruang terminal kubikel yaitu 220 V untuk bisa mendapatkan sumber tegangan dari trafo distribusi [25].

Kelembaban yang terjadi pada komponen kelistrikan akan mengakibatkan terjadinya korona terutama pada terminal kubikel. Terdapatnya korona dapat menyebabkan penurunan kualitas isolasi atau *breakdown*. Apabila terjadi kenaikan tegangan atau arus akibat gangguan, maka akan memudahkan kerusakan pada isolasi yang mengalami penurunan kualitas. Terjadinya kerusakan akibat penurunan kualitas pada alat akan berdampak pada biaya yang berlebih untuk perbaikan alat [25].

2.4.11 *Handle* Kubikel (Tuas Operasi)

Komponen *handle* kubikel memiliki fungsi untuk menggerakkan mekanik kubikel baik membuka dan menutup posisi kontak hubung baik LBS, PMS, PMT dari pemisah pentanahan (*grounding*) atau pengisian pegas untuk energi bisa membuka atau menutup kontak hubung. Penggunaan *handle* kubikel tiap gardu berbeda-beda dikarenakan kubikel yang digunakan juga berbeda dengan gardu lainnya, hal ini bergantung pada produk kubikel yang digunakan. Hal ini disesuaikan dengan bentuk dan fungsi dari masing-masing jenis kubikel [25].

Pemasangan komponen *handle* kubikel di letakkan pada posisi yang mudah dijangkau oleh petugas *maintenance*. *Handle* kubikel dirancang dengan berkesinambungan pada komponen mekanik kubikel dalam pengoperasiannya. Sehingga *handle* kubikel menjadi salah satu komponen utama yang sangat diperlukan pada kubikel [25].

2.4.12 Sistem *Interlock* dan Pengunci

Sistem *interlock* merupakan alat penunjang pada kubikel yang harus memiliki kelengkapan untuk mencegah kemungkinan terjadinya kesalahan atau kelalaian saat operasi dari peralatan serta menjaga keamanan operasi. Perangkat *interlock* harus dirancang dari jenis mekanis sesuai standar pembuatan paling tinggi, hal ini diharuskan dan tidak dapat diganggu gugat karena kekuatan mekanis dari *interlock* harus lebih tinggi dari kekuatan kontrol mekanisnya. Pada kubikel jenis PMT mengharuskan sistem *interlock* juga diberlakukan pada sistem kontrolnya, dimana pada kubikel tersebut terdapat motor listrik sebagai penggerak alat hubung dan dikontrol menggunakan sistem kontrol arus listrik searah [25].

Ketika posisi suatu komponen kubikel belum tepat pada posisinya saat dioperasikan, maka sistem kontrol tidak akan dapat dioperasikan. Adapun macam-macam *interlock* pada kubikel, antara lain.

a. *Interlock* pintu

Pada *interlock* pintu kubikel terjadi dua kondisi, dimana kondisi pertama yaitu kubikel harus tidak dapat dibuka ketika sakelar utama (sakelar tegangan menengah) dalam kondisi tertutup dan sakelar pembumian dalam keadaan terbuka. Kondisi kedua yaitu kubikel harus tidak ditutup jika sakelar pembumian dalam keadaan terbuka.

b. *Interlock* sakelar utama

Pada sakelar utama (sakelar tegangan menengah) harus tidak dapat digunakan jika pintu kubikel berada dalam kondisi terbuka, dan sakelar pembumian dalam keadaan tertutup.

c. *Interlock* sakelar pembumian

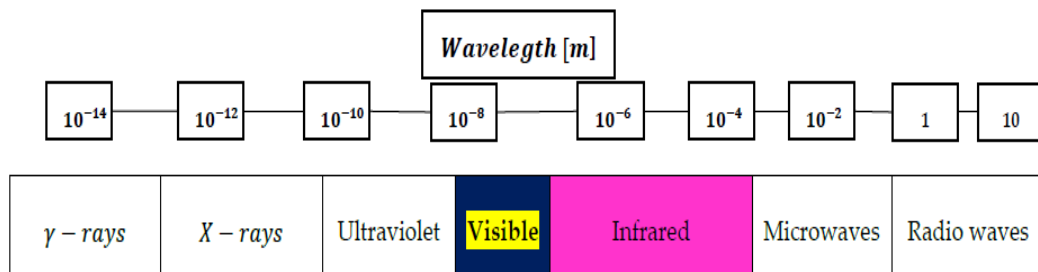
Pada sakelar pembumian harus dalam keadaan tidak tertutup jika sakelar utama dalam keadaan tertutup.

d. Penguncian

Perlengkapan yang harus tersedia pada penguncian yaitu sakelar pembumian dalam posisi terbuka ataupun tertutup, sakelar utama atau pemutusan tenaga dalam keadaan posisi terbuka, dan penguncian untuk pintu kubikel [25].

2.5 *Infrared Thermography*

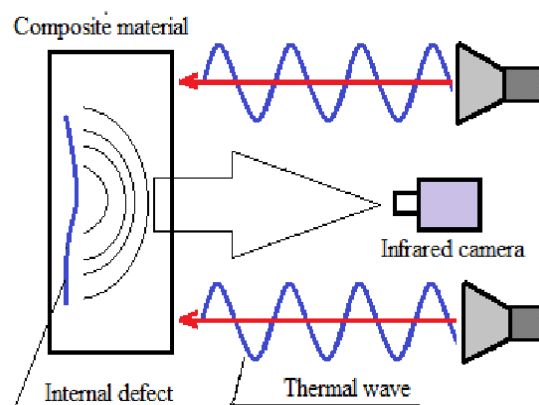
Thermography merupakan suatu teknik dimana gelombang inframerah yang tidak terlihat secara kasat mata, kemudian dipancarkan oleh objek lalu diubah menjadi gambar panas secara visual. Landasan pada *infrared thermography* adalah adanya fenomena bahwa suatu benda yang memiliki suhu diatas nol mutlak ($-273,15^{\circ}\text{C}$) akan memancarkan radiasi gelombang elektromagnetik. Besaran dan komposisi spektrum radiasi yang dipancarkan oleh suatu benda sangat bergantung dari permukaannya. Menghitung besar intensitas radiasi pada suatu objek benda dapat digunakan untuk menentukan suhu benda tersebut dengan metode tanpa kontak langsung (*non-contact*) [26]. Adapun gambar gelombang inframerah dalam spektrum gelombang elektromagnetik seperti gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Spektrum Gelombang Elektromagnetik [26].

Pada gambar 2.2 spektrum gelombang elektromagnetik di atas, gelombang inframerah berada pada posisi antara cahaya tampak dan gelombang mikro. Panjang gelombang pada inframerah lebih besar dibandingkan dengan cahaya tampak, hal ini menyebabkan gelombang inframerah bersifat tidak kasat mata. Namun panjang gelombang inframerah lebih kecil dari gelombang mikro, hal ini menyebabkan gelombang inframerah tidak berbahaya jika mengenai tubuh. Gelombang elektromagnetik memiliki sifat pantulan, penyerapan, dan transmisi pada material yang dikenainya sehingga gelombang inframerah dapat dengan mudah diserap oleh berbagai material [26]. Emisivitas setiap objek pada benda didasarkan oleh hukum Kirchoff, dimana tingkat emisi suatu benda atau permukaan akan setara dengan jumlah penyerapan pada panjang gelombang yang sama. Suatu benda hitam (*blackbody*) dikatakan baik apabila pada kondisi penyerapan dan pemantulan mampu menyerap seluruh radiasi panas yang diterima dan dipantulkan kembali. Benda hitam (*blackbody*) memiliki kemampuan untuk menyerap radiasi yang berbanding lurus dengan kemampuan memancarkan radiasi [27].

Teknik *thermography* merupakan penerapan dari penggunaan gelombang inframerah, karena pada penerapan teknik *thermography* menggunakan detektor inframerah. Detektor inframerah berfungsi sebagai penangkap gelombang radiasi panas yang dipancarkan oleh suatu benda, radiasi yang diterima oleh detektor akan diterjemahkan dalam bentuk gambar *thermal* atau *thermogram* melalui sistem yang memproses sinyal pada suatu alat pengukur *thermography* [28]. Adapun skema penerapan teknik *infrared thermography* dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Skema *Infrared Thermography* [28].

Pada gambar 2.3 di atas menunjukkan bahwa teknik *infrared thermography* bekerja dengan cara menangkap radiasi inframerah yang dipancarkan oleh suatu benda lalu divisualisasikan oleh alat *thermal imager* menjadi termogram. Pengaruh terjadinya panas pada suatu benda disebabkan oleh aliran arus listrik yang mengalir secara berkelanjutan sehingga tumbukan oleh pembawa muatan dalam logam mendapat energi dan menyebabkan terjadinya panas dan atom-atom akan bergerak semakin kuat. Hal ini merupakan penerapan dari hukum *Joule* dengan rumus sebagai berikut [29].

$$P = I^2 R \quad (2.1)$$

keterangan:

P: daya (Watt)

I: kuat arus (Ampere)

R: hambatan (Ohm).

Dalam pengujian *infrared thermography*, gejala yang ditimbulkan oleh suatu benda dapat dilakukan dengan menganalisis perbedaan suhu yang dihasilkan dari perbandingan suhu benda yang diamati dengan nilai referensi. Adapun rumus yang digunakan dalam hal ini yaitu sebagai berikut [29].

$$\Delta T = T2 - T1 \quad (2.2)$$

keterangan:

ΔT : perubahan suhu ($^{\circ}\text{C}$)

T1: suhu awal ($^{\circ}\text{C}$)

T2: suhu akhir ($^{\circ}\text{C}$)

Pada pelaksanaannya, dalam pengujian menggunakan teknik *thermography* biasa dilakukan minimal sebulan sekali. Namun ketika terjadi kondisi tertentu, maka pengukuran perlu dilakukan sesuai kebutuhan untuk *monitoring* lebih jauh terhadap masalah yang terjadi. Standar yang digunakan dalam menganalisis hasil pengujian *infrared thermography* yaitu dengan menggunakan standar dari NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) yang merupakan organisasi pengembangan standar yang terakreditasi dari ANSI, yang terdiri dari para pemimpin bisnis, pakar listrik, insinyur, ilmuwan, dan teknisi. Adapun standar pengujian *temperature rise infrared thermography* yang digunakan yaitu seperti pada tabel 2.1 berikut [26].

Tabel 2.1 *Temperature Rise* dan Nilai *Standard of Thermography Inspection*
FLIR

<i>Temperature Rise</i> (°C)	<i>Priority</i>	<i>Grade</i>
< 10	Normal	0
10 – 30	Monitor	1
30 – 50	Rencanakan Perbaikan Segera	2
> 50	Perbaikan Segera	3

2.6 Ketidakseimbangan Beban

Sebuah sistem tenaga listrik 3 *phase* yang seimbang adalah sistem dimana tegangan tiap *phase*-nya yang diukur dari *phase* ke netral memiliki besar magnitud yang sama dan memiliki perbedaan sudut *phase* sebesar 120°. Perhitungan persentase ketidakseimbangan beban untuk motor dan generator telah diuji dan menghasilkan batas toleransi maksimum yang diizinkan untuk ketidakseimbangan beban dan tegangan. Berdasarkan standar *National Equipment Manufacturers Association* (NEMA), dimana rekomendasi bahwa motor dapat dioperasikan secara normal pada kapasitas *rated* jika ketidakseimbangan tegangan tidak lebih dari 1%. Adapun rumus ketidakseimbangan beban yaitu sebagai berikut [30].

Besar ketidakseimbangan beban arus, U_I , dinyatakan dengan:

$$U_I = \frac{\text{Deviasi arus phase}}{\text{Nilai rata-rata arus phase}} \times 100\% \quad (2.3)$$

Besar ketidakseimbangan tegangan, U_V , dinyatakan dengan:

$$U_V = \frac{\text{Deviasi tegangan phase to phase}}{\text{Nilai rata-rata tegangan phase to phase}} \times 100\% \quad (2.4)$$

2.7 Kamera Inframerah (*Thermal Imager*)

Perangkat dasar yang digunakan untuk mengaplikasikan teknik *infrared thermography* adalah kamera inframerah. Perangkat ini didasarkan dengan detektor yang mampu menangkap energi radiasi inframerah yang dipancarkan oleh objek benda yang dihasilkan dari proses degradasi material peralatan listrik yang menimbulkan panas pada objek benda. Proses ini terjadi akibat adanya optik yang memfokuskan radiasi pada detektor, kemudian dikirimkan data ke sensor elektronik untuk memproses gambar. Sensor ini mampu mengubah data menjadi sebuah gambar yang divisualisasikan dengan monitor standar [31].

Thermal imager digunakan dalam melakukan kegiatan *predictive maintenance* untuk *monitor* kondisi dan keandalan suatu peralatan. *Thermal imager* adalah salah satu alat yang digunakan dalam teknik *thermography* yang menerapkan sistem teknologi *Non-Destructive Testing (NDT) of materials evaluation* atau tanpa menyentuh, hal ini dikarenakan alat tersebut memancarkan sinar inframerah kemudian menangkap kembali radiasi yang dikeluarkan oleh objek yang ingin diukur. Alat ini dalam memonitor peralatan listrik perlu dalam keadaan operasi, karena ketika elektron bergerak akan memberikan kenaikan kemampuan arus listrik yang akan menghasilkan panas terhadap apa yang dilewati elektron tersebut [32].

Thermal imager menunjukkan tinggi atau rendahnya *temperature* berdasarkan skala warna hasil pencitraan (pemotretan objek), ketika tidak terdapat beda *temperature*, maka gambar *infrared* tidak menampilkan perbedaan warna sebagai indikator suhu. Penggunaan alat *thermal imager* bertujuan untuk dapat *monitoring* secara berkala kondisi dan keandalan suatu perangkat listrik. Alat *thermal imager* yang tersedia untuk dapat melakukan pengukuran yaitu Fluke (Ti Series), Satir (D300), dan FLIR *Infrared Cameras* [33]. Adapun kelebihan alat ukur *thermal imager* adalah sebagai berikut.

1. Bisa mengukur tanpa menyentuh objek
 - a. Pengukuran dilakukan pada jarak aman
 - b. Tidak menghambat atau mempengaruhi target yang ingin diukur
2. Pengukuran dilakukan dalam dua dimensi
 - a. Membandingkan antar area pada target
 - b. Gambaran pola panas dapat dianalisa
3. Dilakukan dalam kondisi *real time*
 - a. Dapat memeriksa objek statis
 - b. Dapat melihat objek bergerak
 - c. Dapat melihat perubahan pola panas dengan cepat.

Adapun kekurangan teknik *thermography* dengan alat *thermal imager* antara lain.

1. Pengukuran hanya pada suhu permukaan objek
2. Ketepatan dalam pengukuran belum tentu akurat dan presisi.

2.8 Software FLIR Thermal Studio

Software FLIR thermal studio merupakan perangkat lunak untuk analisis dan pelaporan citra termal yang dirancang untuk dapat mengelola sebagian besar gambar dan video *thermal*. Peralatan yang biasa digunakan yaitu dengan kamera *thermal* genggam FLIR, kamera *Optical Gas Imaging* (OGI), dan kamera *thermal Unmanned Aircraft Systems* (UAS). *FLIR thermal studio* memiliki kemampuan dalam pemrosesan dan otomatisasi dengan canggih untuk dapat memperjelas alur kerja dan peningkatan produktivitas. *FLIR thermal studio* dapat digunakan untuk pengukuran, rumusan tingkat lanjut, dan analisis templat khusus untuk termografi profesional dengan seluruh kumpulan foto atau video termal, hal ini berbeda dengan perangkat lunak serupa yang mengharuskan pengguna memproses gambar satu persatu.

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang berjudul *Pemanfaatan Teknologi Infrared Thermography untuk Deteksi Dini Kegagalan Isolasi Jaringan Kabel Listrik UNNES* yang ditulis oleh Kartono, Agus Suryanto, dan Eko Bagus Apriyanto, tahun 2018 membahas mengenai pengukuran kondisi kabel pada panel trafo di Universitas Negeri Semarang. Penelitian ini menggunakan metode *thermography* dengan analisa secara kualitatif untuk melihat peta pola panas yang terdapat pada titik panas, dan kuantitatif untuk melihat nilai *range temperature* peta pola panas terukur yang terdapat pada alat kamera thermal Fluke Ti32. Data yang diperoleh baik pada data primer ataupun sekunder dianalisis dengan menggunakan *software SmartView* yang khusus untuk membaca data gambar [14].

Penelitian yang berjudul *Predictive Maintenance of Power Substation Equipment by Infrared Thermography Using a Machine Learning Approach* ditulis oleh Irfan Ullah et al., tahun 2018 membahas langkah awal yang dilakukan dalam pencegahan kerusakan pada gardu listrik dengan dengan melakukan *monitoring* komputer yang memanfaatkan data berupa gambar *thermal* (*thermograms*). *Thermograms* diambil melalui kamera inframerah tanpa mengganggu operasi kerja alat karena pengujian dilakukan tanpa menyentuh objek dalam menganalisa cacat pada peralatan kelistrikan [7].

Penelitian yang berjudul Pemantauan *Thermography* Inframerah Dalam Pemeliharaan Instalasi Listrik Fasilitas Sarana Dukung IEBE ditulis oleh Ahmad Paid, dkk., tahun 2018 membahas proses *scanning* permukaan seluruh panel dengan teknik *thermography* inframerah untuk menentukan titik panas (*hotspot*) yang terindikasi. Terjadinya *hotspot* perlu dilakukan perbaikan sehingga sistem yang mengalami kerusakan dapat bekerja kembali pada temperatur normal [15].

Penelitian yang berjudul Evaluasi Citra Kerusakan pada Panel Distribusi Listrik Tegangan Rendah Berdasarkan Termografi Inframerah ditulis oleh Slamet Wahyudi, dkk., tahun 2019 membahas mengenai sering ditemukan terjadinya kesalahan interpretasi saat citra kamera *thermal* yang dihasilkan diolah lebih lanjut. Penelitian ini memperkenalkan metode pengoperasian dan pengambilan citra *thermal* dengan menggunakan kamera inframerah sesuai standar prosedur operasi yang benar sehingga dapat meminimalisir kesalahan interpretasi yang berdampak pada keputusan dan tindakan perbaikan [9].

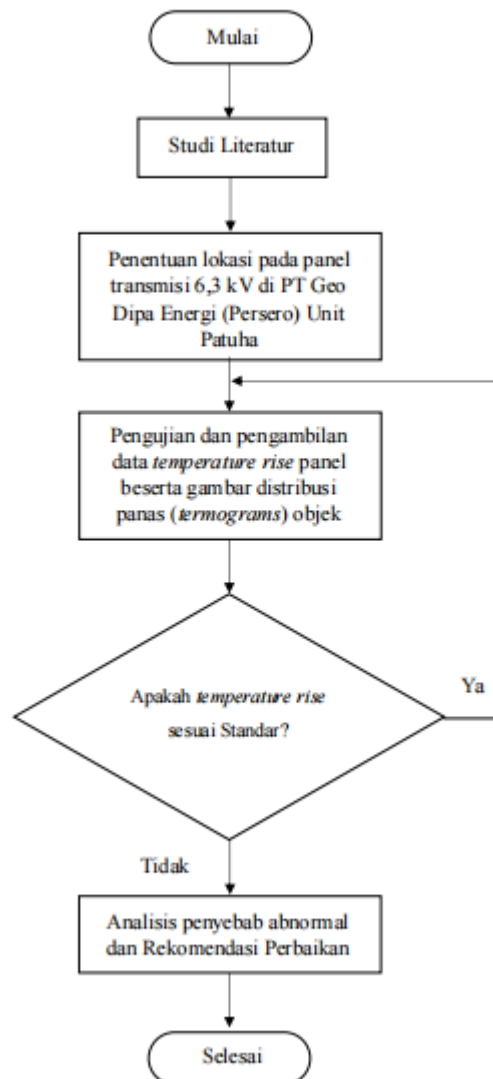
Penelitian yang berjudul Karakteristik Penyebaran Panas pada Sistem Transmisi Roda Gigi dengan Termografi ditulis oleh Ali Mahmudi dan Parno Raharjo, tahun 2020. Penelitian ini membahas pengukuran termografi untuk memindai penyebaran panas pada komponen utama sistem transmisi roda gigi selama 120 menit. Hasil penelitian ditemukan bahwa kenaikan temperatur tertinggi terjadi pada badan motor penggerak, kemudian kopling, bantalan sisi penggerak, bantalan kotak roda gigi sisi penggerak, dan bantalan kotak roda gigi sisi non penggerak [12].

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas metode penyelesaian dalam penelitian yang terdiri dari diagram alir penelitian, komponen penelitian yang digunakan, metode penelitian, dan jadwal penelitian yang dibutuhkan selama penelitian.

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa tahapan dalam proses penyelesaian penelitian yang dilaksanakan. Berikut di bawah ini Gambar 3.1 merupakan diagram alir (*flowchart*) dari penelitian yang dilaksanakan.



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

Dalam proses penyelesaian penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang dilakukan, antara lain:

1. Melakukan studi literatur yaitu mengumpulkan referensi seperti makalah, paper, buku, dan laporan penelitian yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas. Penelitian terkait yang digunakan tentang *infrared thermography* yaitu dari Kartono dan kawan-kawan tahun 2018, Irfan Ullah *et al.* tahun 2018, Slamet Wahyudi dan kawan-kawan tahun 2019, dan Ali Mahmudi dan Parno Raharjo tahun 2020.
2. Penentuan lokasi yaitu di ruangan MV *switchgear* transmisi 6.3 kV yang didampingi langsung oleh *user* dan mengumpulkan data spesifikasi alat seperti *cubicle*, *thermal window*, dan alat penunjang lain yang berhubungan dengan penelitian.
3. Melakukan pengujian *thermography* untuk mendapatkan data *temperature rise* pada terminasi kabel koneksi panel kubikel serta gambar distribusi panas (termograms) dan pengambilan data kondisi panel kubikel seperti tegangan, arus, ketidakseimbangan arus dan tegangan.
4. Menghasilkan analisis akhir dan kesimpulan yang merupakan solusi dari permasalahan penelitian serta sekaligus menjadikan saran untuk kedepannya di perusahaan itu.

3.2 Komponen Penelitian

Dalam penelitian ini diperlukan beberapa alat dan bahan yang digunakan yaitu data sekunder yang merupakan data yang diperoleh melalui referensi Pustaka yang berhubungan dengan penelitian laporan skripsi ini. Selain literatur sebagai referensi penelitian, data sekunder yang diperoleh adalah data teknis spesifikasi peralatan yang akan digunakan serta data pengujian *thermography* yang sudah dilakukan pada bulan sebelumnya.

3.2.1 Panel Kubikel

Dalam penelitian ini melakukan pengujian *thermography* pada terminasi kabel koneksi panel kubikel MV *switchgear* transmisi 6.3 kV dengan memanfaatkan *infrared thermography* pada alat uji *thermal imaging* FLIR T530. Berikut di bawah ini merupakan Tabel 3.1 data spesifikasi panel kubikel 6.3 kV.

Tabel 3.1 Data Spesifikasi Panel Kubikel

Type	<i>Schneider Electric</i>
Equipment Name	6 kV Unit Service MV Board
Equipment No.	P1BBA
Project Ref No.	6016IE
Rated Voltage/ Nominal Voltage Frequency	7.2 kV Rated/ 6.3 kV 50 Hz Service
Rated Current	1250 A
Environmental Temperature	Min -5°C Max 40°C
Rated Short Circuit Current	25 kA – 1sec
IP Rating	IP41
Overall Dimension (HxWxD)	2730mm x 10904mm x 1725mm
Weight	16760 Kg
Year Built	2013

3.2.2 Thermal Imager

Adapun komponen (alat) yang digunakan dalam penelitian dengan metode *infrared thermography* adalah *thermal imager* dengan tipe FLIR T530 yang berfungsi untuk mengukur suhu kabel koneksi pada panel kubikel dan menghasilkan gambar distribusi panas (termograms) setelah tangkapan gambar objek ditransfer melalui *software* FLIR *Thermal Studio* tanpa menyentuh komponennya (*Non-Destructive Testing*). Berikut Gambar 3.1 merupakan *thermal imager* yang digunakan dalam pengujian *infrared thermography*.



Gambar 3.2 Thermal Imager FLIR T530

Adapun spesifikasi singkat alat *thermal imager* FLIR T530 seperti Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Spesifikasi Singkat *Thermal Imager FLIR T530*

Fitur Kamera	Keterangan
<i>IR Resolution</i>	320 x 240 (76.800 <i>pixels</i>)
<i>Thermal Sensitivity/NETD</i>	< 40 mK, 24° @ 30°C (86°F)
<i>Accuracy</i>	±2°C (±3,6°F) or ±2% of reading
<i>Digital Camera</i>	5 MP, with built-in LED photo/video lamp
<i>Display</i>	4", 640 x 480 <i>pixels</i> touchscreen LCD with auto-rotation
<i>Storage Media</i>	Removable SD card
<i>Battery type</i>	Li-ion battery, charged in camera or on separate charger
<i>Battery Voltage</i>	3,6 V

3.2.3 Thermal Window

Pengujian *infrared thermography* dilakukan melalui *thermal window* yang merupakan jendela dengan berbentuk bulat pada umumnya dengan ukuran yang berbeda-beda sesuai kebutuhan. Pengujian *infrared thermography* melalui *thermal window* perlu dilakukan *setting* pada kamera *thermal* dengan mengukur terlebih dahulu suhu yang dihasilkan pada *thermal window*. Berikut Gambar 3.2 merupakan *thermal window* yang digunakan pada pengujian *infrared thermography*.

Gambar 3.3 *Thermal Window IRW-4C*

Berikut di bawah ini merupakan Tabel 3.3 spesifikasi *thermal window* tipe IRW-4C.

Tabel 3.3 Spesifikasi Singkat *Thermal Window IRW-4C*

Manufacturer Specs	Information
General Specifications	
<i>NEMA Environment Type</i>	<i>Type 4/12 (outdoor/indoor)</i>
<i>Maximum Operating Temperature</i>	500°F/260°C
Size Specifications	
<i>Overall Height</i>	136.5mm (5.37")
<i>Overall Width</i>	127.44mm (5.01")
<i>Overall Thickness</i>	29.25mm (1.15")
<i>Required Actual Hole Diameter (Nominal)</i>	114.3mm (4-1/2")
Optic Specifications	
<i>Crystal Insert Diameter</i>	95mm (3.74")
<i>Viewing Aperture Diameter</i>	89mm (3.50")
<i>Viewing Aperture Area</i>	6221mm ² (9.64in ²)
<i>Window Thickness</i>	2mm (0.07")
<i>Optic Maximum Temperature</i>	1355.6°C (2474°F)
<i>Body Material</i>	<i>Anodized Aluminum</i>
<i>Gasket Material</i>	<i>Silicone</i>
<i>Hardware Material</i>	<i>Steel</i>
Rating & Testing	
<i>UL 50/ NEMA Environment Rating</i>	<i>Type 4/12</i>
<i>Arc Flash Testing, IEC 62271-200 (KEMA)</i>	5kV, 63kA for Cycles at 60Hz
<i>IP Rating, IEC 60529 (TUV)</i>	IP67
<i>Maximum Pullout Strength</i>	1678 kg (3700 lbs)

3.3 Metode Penelitian

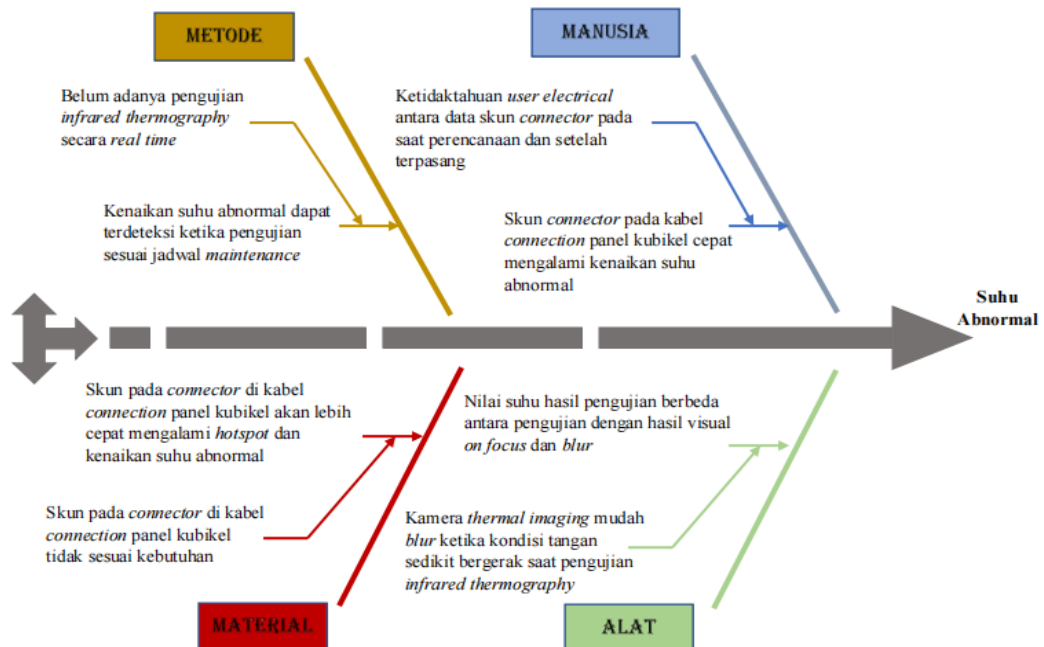
Pada penelitian ini menggunakan pengujian *infrared thermography* kualitatif dan kuantitatif untuk menentukan kondisi terminasi kabel koneksi panel kubikel menggunakan alat *thermal imager* FLIR T530, dan metode diagram *Fishbone* dalam mengetahui faktor sebab dan akibat. Dalam analisa pengukuran *thermal* digunakan standar NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*). Berikut Tabel 3.4 merupakan standar NEMA yang digunakan dalam pengukuran.

Tabel 3.4 *Temperature Rise* dan Nilai *Standard of Thermography Inspection*

FLIR

Temperature Rise (°C)	Priority	Grade
< 10	Normal	0
10 – 30	Monitor	1
30 – 50	Rencanakan Perbaikan Segera	2
> 50	Perbaikan Segera	3

Metode *fishbone* yang digunakan dalam mengetahui sebab dan akibat dari permasalahan yang sedang diteliti di terminasi kabel koneksi panel kubikel MV *switchgear* transmisi 6.3 kV. Berikut Gambar 3.4 diagram *fishbone* yang digunakan dalam mengetahui sebab dan akibat permasalahan.



Gambar 3.4 Diagram *Fishbone*

Dalam melakukan pengujian *thermography* perlu memperhatikan beberapa hal sebagai berikut.

1. Persiapan Kerja

- Siapkan PTW, alat kerja, dan dokumen pendukung lainnya
- Koordinasi dengan operator untuk mencegah dampak pekerjaan saat operasi
- Gunakan APD yang sesuai (sarung tangan katun, kacamata, dll).

2. Langkah Kerja

- Membuka *thermal window* panel listrik dengan hati-hati
- Mengarahkan *thermal imaging* pada bagian komponen kubikel untuk diperiksa tingkat kenaikan suhu komponen *connector* pada panel kubikel.

3. Penyelesaian Pekerjaan

- Menutup kembali *thermal window* panel listrik
- Mengumpulkan dan mengembalikan peralatan pekerjaan sesuai tempatnya
- Bersihkan area kerja dan tutup dokumen perizinan yang terkait.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

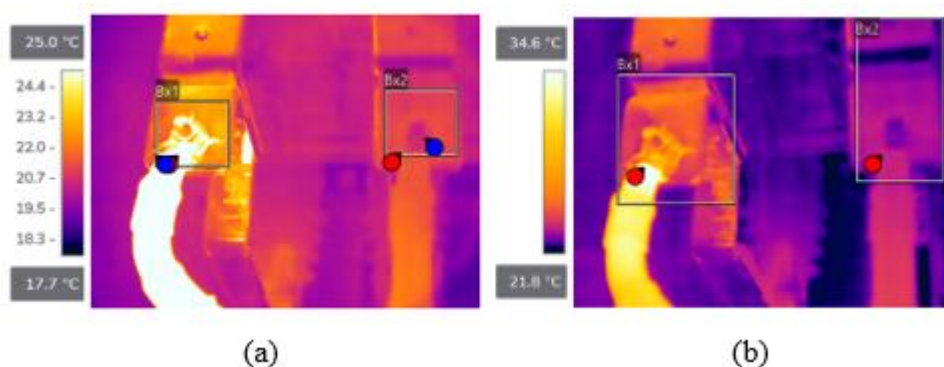
Bab ini akan menjelaskan hasil pengujian *infrared thermography* yang dilakukan di MV *switchgear* transmisi 6.3 kV pada tiap masing-masing panel kubikel, dan hasil setelah dilakukan perbaikan.

4.1 Metode Pengidentifikasi Masalah Menggunakan Diagram *Fishbone*

Penelitian ini dihadapkan dengan permasalahan yaitu terdapatnya suhu abnormal pada *connector* di salah satu panel kubikel transmisi 6.3 kV. Dalam langkah pengidentifikasian permasalahan yang terjadi, melalui diagram *fishbone* terbentuk faktor-faktor yang menjadi penyebab dan berakibat pada permasalahan. Terdapat 4 penyebab masalah yang mempengaruhi kenaikan suhu abnormal pada panel kubikel 6.3 kV, yaitu:

1. Faktor metode yaitu, belum terdapatnya metode *infrared thermography* yang dilakukan secara *real time* dengan *monitoring by system*, hal ini menjadikan pendeteksian kenaikan suhu abnormal pada *connector* panel kubikel menjadi sedikit terlambat dalam mengindikasikan terjadinya suhu abnormal karena perlu menyesuaikan dengan jadwal rutin bulanan *maintenance electrical*. Hal ini terjadi pada terminasi kabel koneksi panel *Incoming UMVB (F2) Connection S-T* yang sebelumnya pada bulan januari didapatkan suhu *maximum* Bx1 sebesar 39.6°C dan Bx2 sebesar 42.5°C sehingga hasil kenaikan suhunya sebesar 3.0°C, lalu pada bulan berikutnya februari didapatkan suhu *maximum* Bx1 sebesar 46.6°C dan Bx2 sebesar 41.9°C sehingga hasil kenaikan suhunya sebesar 4.7°C. Jika dibandingkan kenaikan suhu yang terjadi pada bulan januari ke februari maka kenaikan suhu yang terjadi sebesar 1.7°C. Peristiwa itu menunjukkan bahwa walaupun masih dalam keadaan normal namun kenaikan suhu dapat terjadi dengan cepat, sehingga pengujian yang dilakukan secara manual masih belum pada pengujian efektif dalam mengidentifikasi kenaikan suhu peralatan listrik melalui pengujian *infrared thermography*.

2. Faktor alat yaitu, resolusi kamera yang digunakan sebesar 320 x 240 (76.800 pixels) adalah kamera yang belum versi terbaiknya, sehingga hasil gambar masih terlihat banyak *noise*. Selain itu faktor sudut dalam pengambilan gambar berpengaruh dimana sudut lensa yang lebih kecil berarti ukuran titik pada objek lebih kecil, sehingga dalam pengambilan gambar perlu dilakukan dengan jarak dekat dan sudut yang sesuai. Hal ini terjadi pada saat melakukan pengujian *thermography* di minggu ke-3. Berikut Gambar 4.2 hasil *visual thermal* (termograms) pengujian *infrared thermography* yang dilakukan 2 kali pada minggu ke-3.



Gambar 4.1 Termograms Minggu ke-3, (a) Percobaan 1, dan (b) Percobaan 2

Berdasarkan Gambar 4.2, di atas merupakan termograms pada minggu ke-3 dimana dilakukan 2 kali pengujian dengan perbedaan *range* suhu pada hasil pengujiannya. Pada percobaan pertama yang dilakukan menghasilkan suhu pada Bx1 sebesar 34°C dan Bx2 sebesar 21.5°C, sehingga kenaikan suhu yang didapat sebesar 12.5°C. Kemudian dilakukan pengujian sekali lagi yaitu pengujian kedua menghasilkan suhu pada Bx1 sebesar 36.1°C dan Bx2 sebesar 23.8°C, sehingga kenaikan suhu yang didapat sebesar 12.3°C. Berdasarkan hasil kenaikan suhu tidak jauh berbeda hanya terpaut nilai 0.2, namun pada termograms yang dihasilkan pada pengujian pertama menghasilkan gambar yang lebih kontras dibanding pengujian kedua. Hal ini dapat mempersulit dalam mengidentifikasi *hotspot* yang terjadi pada objek benda. Tangkapan gambar yang *on focus* dan *blur* memiliki perbedaan pada hasil pengukuran kenaikan suhu objek, gambar yang *on focus* akan menghasilkan pengukuran yang lebih akurat dibandingkan dengan yang *blur*.

3. Faktor material yaitu, terjadinya peningkatan suhu yang abnormal pada bahan yang terkandung di dalam *connector* (skun) terbuat dari *full* tembaga, hal ini menyebabkan lebih cepat panas tanpa diimbangi dengan pembuangan panas yang baik pada bahan *full* tembaga, dengan begitu panas akan terkumpul pada satu titik dan menyebabkan *hotspot*. Berikut Gambar 4.3 merupakan *connector* (skun) pada terminasi kabel koneksi panel kubikel bisa dilihat di bawah ini.



Gambar 4.2 Terminasi Kabel Koneksi Panel Kubikel

Berdasarkan Gambar 4.3, di atas merupakan terminasi kabel koneksi 3 *phase* (R, S, T) pada panel kubikel yang tersambung dari busbar ke beban melalui *connector* (skun) yang akan ditransmisikan ke beban untuk penggunaan alat dalam mengoperasikan peralatan kelistrikan di wilayah kerja pembangkit. Bahan yang digunakan pada *connector* (skun) pada terminasi kabel koneksi adalah *full* tembaga dengan spesifikasi lengkap yaitu Cu 70 M12. Jika dilihat dari tingkat resistansi bahan tembaga memiliki besaran 1.68×10^{-8} dan konduktivitas sebesar 5.96×10^7 . Hal ini menunjukkan bahan tembaga memiliki daya hantar yang baik dan memiliki nilai tahanan cukup baik. Namun bahan tembaga mudah beroksidasi dengan udara lembab sehingga jika dibiarkan dapat menimbulkan terjadinya karat. Selain itu ukuran dalam pengencangan baut pada *connector* perlu diperhatikan dimana standar UNI EN 20898/1 yang sesuai dalam pemasangan *connector* dengan jenis bukaan baut sebesar 12mm adalah 71.4 Nm.

4. Faktor manusia yaitu, berdasarkan keterangan dari pihak *maintenance electrical*, dimana ketidaktahuan *user maintenance electrical* antara data yang dibuat pada perencanaan dan ketika sudah beroperasi spesifikasi *connector* (skun) yang digunakan pada terminasi kabel koneksi panel berbeda. Pada perencanaan pembangunan MV *switchgear* panel kubikel transmisi 6.3 kV di wilayah kerja pembangkit dibuat spesifikasi yang sesuai dengan kebutuhan transmisi 6.3 kV, namun setelah sudah terpasang dan berjalan selama 8 tahun ternyata *connector* (skun) yang digunakan sebagai penghubung terminasi kabel koneksi dari busbar ke beban yang terpasang di terminasi kabel koneksi panel kubikel transmisi 6.3 kV nilainya dibawah spesifikasi yang dibutuhkan dan bahan mudah menghasilkan panas tanpa buangan panas yang baik, hal ini berbeda dari spesifikasi yang diperlukan oleh panel kubikel transmisi 6.3 kV. *Connector* (skun) yang terpasang harus diatas spesifikasi untuk dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama.

4.2 Rangkaian Sistem Panel MV *Switchgear* Transmisi 6.3 kV

Rangkaian jaringan distribusi transmisi 6.3 kV dihasilkan dari gardu induk yang menghasilkan tegangan primer 15 kV yang kemudian di *step up* dengan menggunakan GSUT (*Generator Step Up Transformer*) menjadi keluaran tegangan sebesar 150 kV. Tegangan hasil *step up* dibagi sebagian untuk distribusi yang disalurkan melalui *grid* dan sebagian disalurkan ke UAT (*Unit Auxiliary Transformer*) sebagai tegangan sekunder 6.3 kV. Dalam mensuplai ke pusat-pusat beban, dari trafo 6.3 kV disambungkan menuju panel (kubikel) *incoming 1* untuk dibagi tegangannya pada panel (kubikel) *medium voltage* (MV) sebesar 6 kV dan dibagi lagi ke panel *low voltage* (LV) melalui kubikel *incoming 2* yang diturunkan tegangannya oleh trafo baik untuk peralatan yang bertegangan 380 V dan 220 V. Pembagian tegangan sebesar 6.3 kV digunakan untuk mengoperasikan alat seperti motor AC 6.3 kV yang terdapat pada *Hot Well Pump* (HWP) dengan memiliki 2 motor AC yang bertegangan 6.3 kV, *Cooling Tower* dengan memiliki 5 motor AC dengan tegangan sebesar 6.3 kV dan *Liquid Ring Vacuum Pump* (LRVP) dengan memiliki 2 motor AC yang bertegangan 6.3 kV. Lebih jelasnya bisa dilihat rangkaian SLD sistem transmisi 6.3 kV pada Gambar 4.4 di bawah ini.

4.3.1 Pengujian *Thermography* Sebelum *Monitoring*

Penelitian ini melakukan pengujian *thermography* pada setiap terminasi kabel koneksi panel kubikel yang terdapat pada MV *switchgear* transmisi 6.3 kV dengan menggunakan alat uji *thermal imager* FLIR T530 yang dioperasikan secara manual oleh *user*. Berikut di bawah ini merupakan Tabel 4.1 data sekunder pengujian *thermography* yang telah dilakukan sebelumnya.

Tabel 4.1 Data Sekunder Hasil Pengujian *Thermography* Bulan Februari

Panel Kubikel	Phase	Box 1 (°C)	Box 2 (°C)	ΔT (°C)	Kondisi
Incoming UMVB (F1)	Connection R-S	23,9	23,5	0,4	Normal
Incoming UMVB (F1)	Connection S-T	24,0	23,9	0,1	Normal
Incoming UMVB (F2)	Connection R-S	42,4	38,1	4,3	Normal
Incoming UMVB (F2)	Connection S-T	46,6	41,9	4,7	Normal
Incoming UMVB (F3)	Connection R-S	21,9	22,1	0,2	Normal
Incoming UMVB (F3)	Connection S-T	21,8	21,8	0,0	Normal
UMVB LRVP B (F7)	Connection R-S	22,6	22,2	0,4	Normal
UMVB LRVP B (F7)	Connection S-T	22,5	22,7	0,2	Normal
UMVB HWP A (F8)	Connection R-S	24,9	23,8	1,1	Normal
UMVB HWP A (F8)	Connection S-T	36,1	24,6	11,5	Abnormal
UMVB HWP B (F9)	Connection R-S	23,1	23,3	0,2	Normal
UMVB HWP B (F9)	Connection S-T	23,8	23,0	0,8	Normal
UMVB CT A (F10)	Connection R-S	21,6	21,7	0,1	Normal
UMVB CT A (F10)	Connection S-T	21,7	21,7	0,0	Normal
UMVB CT B (F11)	Connection R-S	23,3	23,2	0,1	Normal
UMVB CT B (F11)	Connection S-T	23,0	23,1	0,1	Normal
UMVB CT C (F12)	Connection R-S	21,5	21,6	0,1	Normal
UMVB CT C (F12)	Connection S-T	21,7	21,9	0,2	Normal
UMVB CT D (F13)	Connection R-S	21,6	21,6	0,0	Normal
UMVB CT D (F13)	Connection S-T	21,3	21,5	0,2	Normal
UMVB CT E (F14)	Connection R-S	26,7	22,3	4,4	Normal
UMVB CT E (F14)	Connection S-T	22,0	26,6	4,6	Normal
UMVB Raw Water (F18)	Connection R-S	22,1	22,3	0,2	Normal
UMVB Raw Water (F18)	Connection S-T	22,2	22,2	0,0	Normal
UMVB Steamfield (F19)	Connection R-S	20,9	20,8	0,1	Normal
UMVB Steamfield (F19)	Connection S-T	20,7	20,6	0,1	Normal

Berdasarkan Tabel 4.1, di atas diketahui bahwa data sekunder yang dilakukan pengujian *thermography* pada terminasi kabel koneksi panel kubikel MV switchgear berjumlah 13 panel dengan masing-masing panel yaitu 3 *phase*. Pengukuran nilai perubahan suhu dilakukan pada tiap pasang *phase* yaitu *phase* R-S dan S-T. Melihat dari hasil data pengujian *thermography* pada bulan Februari diketahui bahwa dari 13 panel yang dilakukan pengujian, ditemukan beberapa panel yang mengalami kenaikan suhu cukup tinggi dan terdapat salah satu panel yang mengalami suhu abnormal. Kondisi suhu yang mengalami abnormal terjadi pada panel UMVB *Hot Well Pump* (HWP) A tepatnya pada *phase* S-T dengan nilai kenaikan suhu sebesar 11.5°C. Hal ini jelas diluar kondisi normal berdasarkan standar *thermography* yang dipakai.

Terjadinya suhu abnormal pada terminasi kabel koneksi di panel kubikel perlu dilakukan *monitoring* lebih lanjut untuk dapat mencegah terjadinya kenaikan suhu yang jauh lebih besar dan akan berpotensi menimbulkan kerusakan pada kabel koneksi. Efek dari kerusakan pada kabel koneksi akan berpengaruh pada kehandalan panel kubikel dalam melakukan fungsinya baik sebagai penghubung ataupun pemutus arus listrik. Oleh karena itu dilakukan observasi lanjutan dengan melakukan pengujian *thermography* dengan rentang waktu lebih singkat yaitu perminggu selama sebulan.

4.3.2 Monitoring Pengujian Thermography

Pengujian *thermography* dengan rentang waktu perminggu selama sebulan dilakukan dengan melakukan observasi ke ruang MV *switchgear* transmisi 6.3 kV pemakaian sendiri pada tiap panel kubikel yang terhubung dari sumber ke beban untuk *monitoring* secara langsung kondisi pada terminasi kabel koneksi panel kubikel yang mengalami kenaikan suhu abnormal. Pengujian *thermography* yang dilakukan menggunakan alat *thermal imager* FLIR T530 yang tersedia pada perusahaan dan melihat nilai arus dan tegangan serta ketidakseimbangan yang terjadi pada saat pengujian *thermography* melalui *display* panel kubikel. Berikut di bawah ini merupakan Tabel 4.2 hasil pengujian *thermography* yang dilakukan observasi secara pribadi dalam *monitoring* kabel *connection* yang mengalami kenaikan suhu abnormal.

Tabel 4.2 Hasil *Monitoring* Pengujian *Thermography* Panel UMVB *Hot Well* *Pump* (HWP) A (F8)

Minggu	Phase							
	R-S			Grade	S-T			Grade
	B.1 (°C)	B.2 (°C)	ΔT (°C)		B.1 (°C)	B.2 (°C)	ΔT (°C)	
1	23,6	23,3	0,3	0	35,3	24,1	11,2	1
2	23,3	23,1	0,2	0	35,4	23,3	12,1	1
3	24,6	24,2	0,4	0	36,1	23,8	12,3	1
4	22,6	22,5	0,1	0	34,8	22,5	12,3	1

Berdasarkan Tabel 4.2, di atas adalah data hasil observasi pengujian *thermography* selama sebulan dengan rentang waktu pengujian perminggu pada terminasi kabel koneksi panel kubikel UMVB HWP A yang mengalami kondisi suhu abnormal. Dilihat dari data hasil pengujian *thermography* di atas, diketahui bahwa pengujian *thermography* yang mengacu pada standar pengujian *infrared thermography* didapatkan hasil data yaitu terjadi kenaikan dan penurunan suhu abnormal pada pengujian terakhir di bulan maret.

Berdasarkan data hasil pengujian *thermography* yang dilakukan secara langsung di minggu pertama sampai minggu keempat, pada terminasi kabel koneksi *phase* R-S tidak mengalami kenaikan suhu berlebih dimana berdasarkan hasil pengujian di atas walaupun pengukuran perubahan suhu tiap minggunya mengalami kenaikan dan penurunan, namun kenaikan suhunya tidak lebih dari 1°C. Sebaliknya, hasil pengujian *thermography* yang dilakukan pada terminasi kabel koneksi *phase* S-T mengalami kenaikan suhu berlebih (abnormal) mulai dari minggu pertama pengujian sampai minggu keempat pengujian. Kenaikan suhu abnormal pada *phase* S-T di minggu pertama kenaikan suhu bernilai 11,2°C, hal ini menunjukkan penurunan perubahan suhu yang terjadi jika dibandingkan dengan bulan februari. Namun pada minggu kedua kenaikan suhu terjadi sebesar 12,1°C dan pada minggu ketiga dan keempat kenaikan suhu yang terjadi sebesar 12,3°C. Dilihat dari kenaikan suhu yang terjadi pada minggu pertama ke minggu kedua mengalami kenaikan suhu sebesar 1,1°C dan pada minggu kedua sampai minggu keempat kenaikan suhu yang terjadi hanya sebesar 0,2°C. Hal ini menunjukkan adanya lonjakan kenaikan yang terjadi pada minggu pertama ke minggu kedua. Oleh karena itu dilakukan pengamatan melalui penyebab-penyebab lainnya.

Dalam mengetahui penyebab permasalahan yang terjadi selain melalui *monitoring*, dapat juga dilihat dengan mengetahui besarnya nilai arus dan tegangan serta ketidakseimbangan yang terjadi saat pengujian. Mengetahui nilai arus, tegangan dan ketidakseimbangan menjadikan faktor untuk mengetahui penyebab terjadinya kenaikan suhu abnormal pada terminasi kabel koneksi di panel UMVB HWP A. Ketika nilai ketidakseimbangan tegangan dan arus berada di luar standar yang dipakai maka dapat menyebabkan kerusakan pada *Hot Well Pump A* dimana beban antara *phase* satu dengan *phase* lainnya tidak sama dan berbeda jauh sehingga impedansi dari beban -beban berbeda *phase* satu sama lain. Adapun data kondisi arus dan tegangan serta ketidakseimbangan yang terjadi pada saat melakukan pengujian secara langsung melalui *display* panel kubikel sehingga didapatkan data hasilnya yang dapat dilihat melalui Tabel 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Tegangan Panel Kubikel UMVB HWP A ketika Pengujian *Thermography*

Waktu	Phase (V)			<i>U. Voltage</i> (%)
	R-S	S-T	T-R	
Minggu 1	6332	6309	6314	0.2
Minggu 2	6334	6310	6317	0.2
Minggu 3	6337	6314	6319	0.2
Minggu 4	6335	6311	6317	0.2

Berdasarkan Tabel 4.3, di atas merupakan data hasil nilai tegangan dan ketidakseimbangan tegangan yang terjadi pada saat melakukan observasi langsung ketika melakukan pengujian *thermography* dengan rentang waktu perminggu. Hasil data nilai tegangan yang didapat melalui *display* panel kubikel UMVB HWP A diketahui bahwa pada *phase* R-S, S-T, dan T-R pada minggu pertama pengujian mengalami besaran tegangan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan minggu-minggu berikutnya. Besarnya tegangan rata-rata yang terjadi pada minggu pertama sebesar 6318.3 V sehingga tegangan deviasi yang didapat sebesar 13.7 V, lalu dihitung berdasarkan persentase ketidakseimbangan tegangan yang terjadi yaitu bernilai 0.22%. Berdasarkan standar NEMA nilai ketidakseimbangan tegangan yang diperbolehkan yaitu tidak lebih dari 1%. Hal ini menunjukkan bahwa ketidakseimbangan tegangan yang terjadi pada UMVB HWP A masih dalam keadaan normal.

Besar tegangan rata-rata yang terjadi pada minggu kedua sebesar 6320.3 V sehingga tegangan deviasi yang didapat sebesar 13.7 V, lalu dihitung berdasarkan persentase ketidakseimbangan tegangan yang terjadi yaitu bernilai 0.22%. Hal ini menunjukkan ketidakseimbangan tegangan pada minggu kedua masih dalam keadaan normal. Besar tegangan rata-rata yang terjadi pada minggu ketiga sebesar 6323.3 V sehingga tegangan deviasi yang didapat sebesar 13.7 V, lalu dihitung berdasarkan persentase ketidakseimbangan tegangan yang terjadi yaitu bernilai 0.22%. Hal ini masih menunjukkan bahwa ketidakseimbangan tegangan minggu ketiga masih dalam keadaan normal. Selanjutnya besar tegangan rata-rata minggu keempat yaitu sebesar 6321 V sehingga tegangan deviasi yang didapat sebesar 14 V, lalu dihitung berdasarkan persentase ketidakseimbangan tegangan yang terjadi yaitu bernilai 0.22%. Nilai ketidakseimbangan tegangan yang terjadi pada saat pengujian infrared *thermography* di setiap minggunya bernilai konstan dan normal. Adapun nilai arus dan ketidakseimbangan arus yang terjadi pada saat melakukan pengujian *thermography* dapat dilihat pada Tabel 4.4 sebagai berikut.

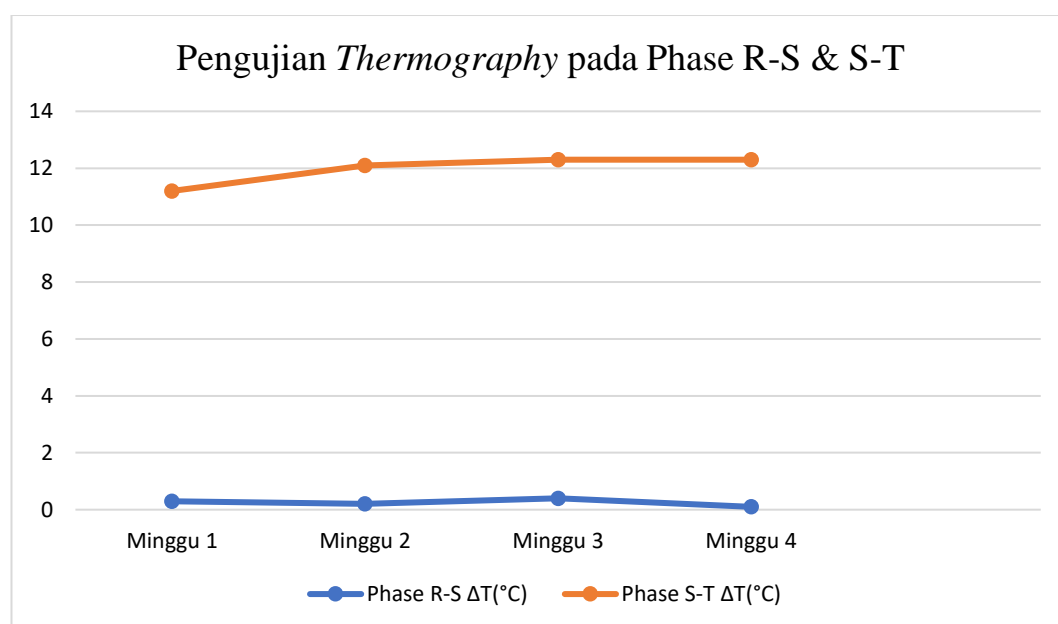
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Arus Panel Kubikel UMVB HWP A ketika Pengujian *Thermography*

Waktu	Phase (A)			<i>U. Current</i> (%)
	R	S	T	
Minggu 1	56	55	55	1.2
Minggu 2	57	56	55	1.3
Minggu 3	57	55	56	1.3
Minggu 4	57	56	55	1.3

Berdasarkan Tabel 4.4, di atas merupakan data nilai arus dan ketidakseimbangan arus yang terjadi pada saat pengujian *thermography* secara langsung. Nilai rata-rata arus yang terjadi pada minggu kedua sampai minggu ketiga bernilai sama. Besar nilai rata-rata arus yang terjadi pada minggu pertama sebesar 55.3 A dengan ketidakseimbangan arus yang didapat sebesar 1.2%. Berdasarkan standar NEMA dimana ketidakseimbangan arus harus sebesar 6 kali lipat dari ketidakseimbangan tegangannya yaitu tidak lebih dari 1%. Sehingga ketidakseimbangan arus yang diperbolehkan tidak lebih dari 6%. Hal ini menunjukkan bahwa ketidakseimbangan arus pada minggu pertama masih dalam keadaan normal.

Besar nilai rata-rata arus yang terjadi pada minggu kedua sebesar 56 A dengan ketidakseimbangan arus yang terjadi sebesar 1.3%. Hal ini menunjukkan bahwa ketidakseimbangan arus pada UMVB HWP A masih dalam keadaan normal. Besar nilai rata-rata arus yang terjadi pada minggu ketiga sebesar 56 A dengan ketidakseimbangan arus yang terjadi sebesar 1.3%. Hal ini menunjukkan bahwa ketidakseimbangan arus masih dalam keadaan normal. Terakhir pada minggu keempat besar nilai rata-rata arus yang terjadi adalah 56 A dengan ketidakseimbangan arus yang terjadi sebesar 1.3 A. Hal ini juga menunjukkan bahwa ketidakseimbangan arus masih dalam keadaan normal. Ketidakseimbangan arus yang terjadi pada terminasi kabel koneksi panel kubikel UMVB HWP A yang dilakukan pengujian *thermography* di minggu pertama lebih rendah dibanding dengan minggu-minggu setelahnya. Kenaikan ketidakseimbangan arus yang terjadi dimulai pada minggu kedua walaupun sedikit namun mampu mempengaruhi kenaikan suhu pada terminasi kabel koneksi.

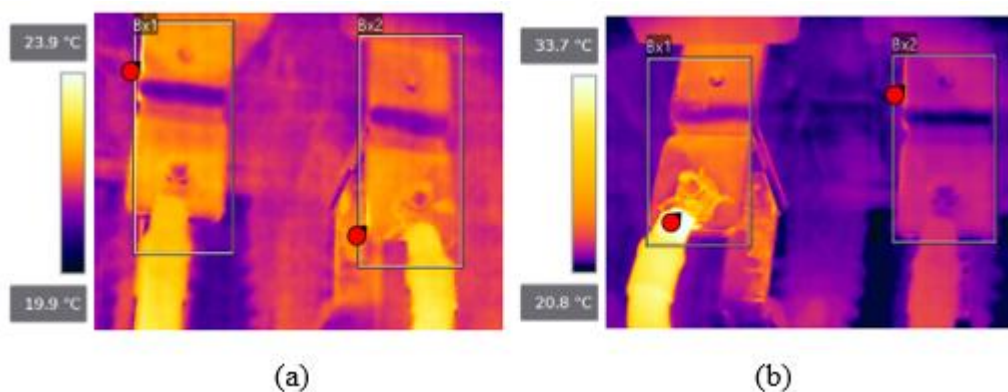
Melihat hasil data pengujian *thermography* yang dilakukan secara langsung selama satu bulan dengan *range* pengujian perminggu dapat dibuat grafik perubahan kenaikan suhu yang terjadi pada terminasi kabel koneksi di panel kubikel UMVB HWP A tepatnya *phase* R-S dan S-T dapat dilihat melalui Gambar 4.5 sebagai berikut.



Gambar 4.4 Grafik Hasil *Monitoring* Pengujian *Thermography* UMVB HWP A (F8) Perminggu *Phase* R-S dan S-T

Berdasarkan Gambar 4.5, di atas merupakan grafik hasil pengujian *thermography* pada *phase* R-S dan S-T. Diketahui pada *phase* R-S minggu pertama kenaikan suhu bernilai $0,3^{\circ}\text{C}$ lalu pada minggu kedua mengalami kenaikan suhu sebesar $0,1^{\circ}\text{C}$ dan pada minggu ketiga mengalami penurunan kembali sehingga menghasilkan nilai yang sama seperti pada minggu pertama serta pada minggu terakhir mengalami penurunan sebesar $0,2^{\circ}\text{C}$. Sedangkan yang terjadi pada *phase* S-T diketahui bahwa bertambahnya kenaikan suhu abnormal dimulai pada minggu kedua dimana kenaikan suhu yang sebelumnya bernilai $11,2^{\circ}\text{C}$ menjadi $12,1^{\circ}\text{C}$ (kenaikan sebesar $0,9^{\circ}\text{C}$) dan pada minggu berikutnya nilai kenaikan suhu konstan sebesar $12,3^{\circ}\text{C}$. Jika dilihat dari penyebabnya, kenaikan suhu abnormal dapat disebabkan oleh bahan dari konduktor terminasi kabel koneksi dan bahan *connector* yang digunakan dalam menghubungkan antara busbar terminasi kabel.

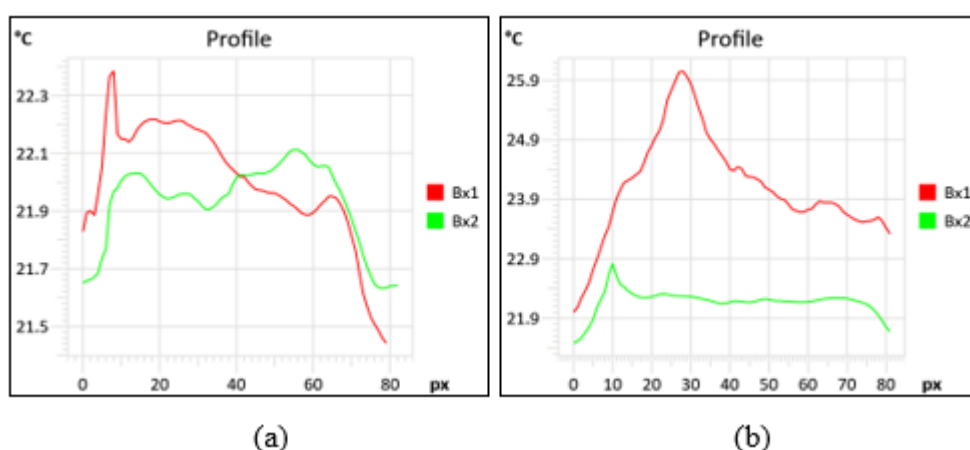
Dalam menganalisa lebih jauh terhadap penyebab terjadinya kenaikan suhu abnormal dapat dilihat dari pengujian *thermography* yang tidak hanya mengacu pada pengukuran kenaikan suhu, melainkan dapat diamati melalui gambar visual *thermal* (termograms) yang dihasilkan dengan melakukan transfer data melalui *software* bernama FLIR *thermal studio* dengan perantara kartu memori kamera. Gambar termograms yang dihasilkan dapat mengetahui keadaan objek yang diteliti dengan memperhatikan warna yang terdapat dari hasil pengujian *thermography*. Warna pada gambar *thermal* disesuaikan dengan tingkatan tertentu, adapun hasil termograms pengujian *thermography* pada minggu ke-1 dapat dilihat melalui Gambar 4.6 sebagai berikut.



Gambar 4.5 Termograms Pengujian *Thermography* pada Terminasi Kabel Koneksi Panel UMVB HWP A Minggu ke-1, (a) *Phase* R-S, dan (b) *Phase* S-T

Berdasarkan Gambar 4.6, di atas merupakan hasil *visual thermal* (termograms) pengujian *thermography* yang dilakukan pada minggu ke-1 pada kabel *connection* kubikel UMVB HWP A dengan *phase* R-S pada bagian (a) dan *phase* S-T pada bagian (b). Dilihat dari termogram yang terjadi pada *phase* R-S kenaikan suhu masih dalam keadaan normal, hal itu terlihat dari termogram yang terjadi pada *box* 1 dan *box* 2 terlihat warna yang dihasilkan antara objek dan sekitar objek cenderung sama. Warna sekitar objek menandakan *range* suhu yang digunakan pada saat melakukan pengujian, semakin jauh *range* suhu yang digunakan maka warna akan semakin gelap dan ketika *range* suhu yang digunakan rendah maka akan berwarna terang.

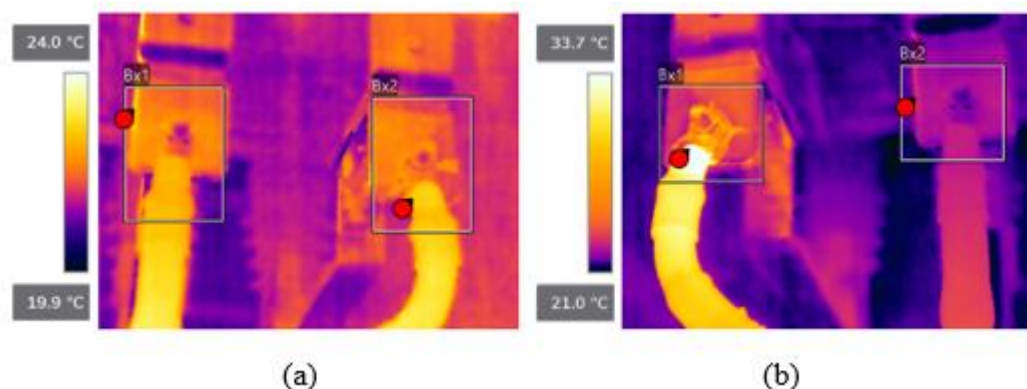
Hasil termograms yang terjadi pada *phase* S-T jika dilihat mengalami kenaikan suhu yang tinggi, hal ini dapat dilihat dari termogram dimana pada *phase* S-T tepatnya pada *box* 1 terlihat warna yang terdapat pada objek benda berwarna oranye menyala yang menandakan suhu yang terjadi pada bagian tersebut sedang tinggi, sedangkan pada *box* 2 suhu yang terdapat pada objek bernilai rendah dengan ditandai berwarna ungu redup. Titik terpanas pada objek dapat diketahui melalui titik merah yang terdapat dalam kotak *box*. Berdasarkan termogram terjadi antara konduktor kabel dan *connector* (skun) yang berfungsi sebagai penghubung dari busbar ke terminasi kabel beban HWP A pada panel kubikel. Adapun hasil grafik *range* pengukuran yang dihasilkan dengan pengujian *thermography* dapat dilihat melalui Gambar 4.7 sebagai berikut.



Gambar 4.6 Grafik *Range* Pengukuran Panas Hasil Pengujian *Thermography* UMVB HWP A Minggu ke-1, (a) *Phase* R-S, (b) *Phase* S-T

Berdasarkan Gambar 4.7, di atas merupakan hasil grafik pengukuran suhu yang terjadi pada *phase R-S* pada bagian (a) dan *phase S-T* pada bagian (b) melalui *software FLIR thermal studio* yang berfungsi untuk mengelola hasil pengujian *thermography* untuk diproses dalam pengukuran ataupun analisa objek dengan melihat kotak pada setiap objek yang terdapat pada Gambar 4.7. Dilihat dari hasil grafik pada *box 1 phase R-S* pada saat pengujian *thermography* terjadi pada *range* suhu tertinggi lebih dari $22,3^{\circ}\text{C}$ dan terendah kurang dari $21,5^{\circ}\text{C}$ yang menyebabkan warna terlihat terang sama seperti warna objeknya secara termogram karena *range* minimal dan maksimal berjarak tidak jauh, begitupun yang terjadi pada *box 2 phase R-S* dimana *range* suhu tertinggi terjadi pada $22,1^{\circ}\text{C}$ dan terendah kurang dari $21,7^{\circ}\text{C}$.

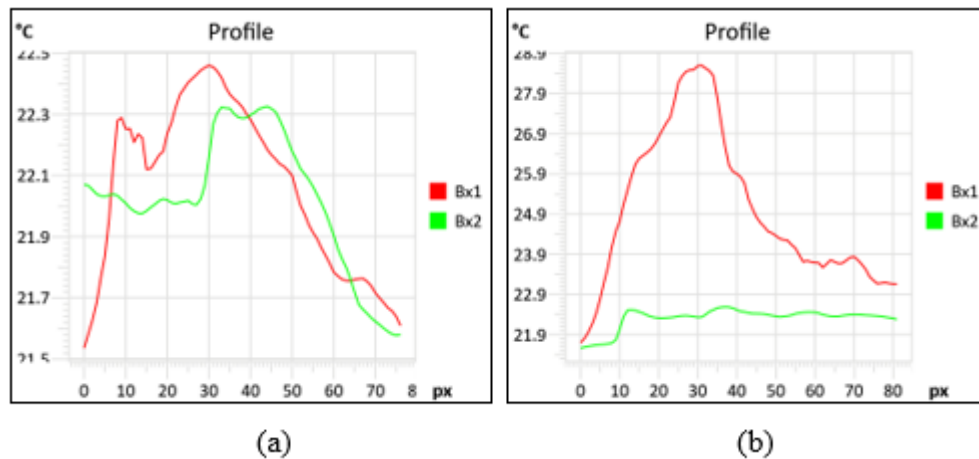
Grafik yang dihasilkan pada *box 1 phase S-T* mengalami *range* suhu tertinggi yaitu lebih dari $25,9^{\circ}\text{C}$ dan terendah terjadi pada $21,9^{\circ}\text{C}$, begitupun sebaliknya pada *box 2 phase S-T* terjadi *range* suhu tertinggi sebesar $22,9^{\circ}\text{C}$ dan terendah kurang dari $21,9^{\circ}\text{C}$. Semakin besar *range* suhu yang terjadi maka akan menghasilkan warna lebih redup pada sekitar area objek dan menandakan bahwa salah satu objek mengalami suhu yang tinggi, dan semakin kecil *range* suhu yang terjadi pada objek akan menghasilkan warna yang lebih cerah. Hal ini dapat terlihat lebih jelas *hotspot* yang terjadi pada objek. Selanjutnya hasil pengujian *thermography* yang terjadi pada minggu ke-2 dapat dilihat melalui hasil termogram seperti Gambar 4.8 sebagai berikut.



Gambar 4.7 Termograms Pengujian *Thermography* pada Terminasi Kabel Koneksi Panel UMVB HWP A Minggu ke-2, (a) *Phase R-S*, dan (b) *Phase S-T*

Berdasarkan Gambar 4.8, di atas merupakan termogram yang dihasilkan pada minggu ke-2 pengujian *thermography* dimana pada *phase* R-S terlihat objek tidak menunjukkan adanya kelainan terhadap panas berlebih yang terjadi. Panas yang terjadi pada objek di *box* 1 dan 2 cenderung bernilai sama sehingga dilihat dari warna panas yang terjadi masih tidak terlihat adanya kelainan pada objek di *phase* R-S. Jika dilihat dari titik tanda yang diberikan, warna pada titik terlihat masih sama dengan warna sekitarnya yang menunjukkan bahwa tidak terlihat adanya titik *hotspot*. Sebaliknya berbeda dengan yang terjadi pada *phase* S-T yaitu mengalami suhu abnormal dimana dilihat dari termogram pada area objek benda berwarna gelap dan pada objek terlihat adanya kelainan terhadap panas yang terjadi. Objek benda yang mengalami panas berlebih dapat dilihat pada *box* 1 dimana berdasarkan *range* warna panas menunjukkan warna terang menyala yang mengindikasikan bahwa objek mengalami panas berlebih, sedangkan pada *box* 2 objek tidak mengalami panas berlebih, hal tersebut dapat dilihat dari warna yang terjadi. Perbedaan suhu panas yang terjadi pada *phase* S-T berbanding jauh sehingga berdasarkan standar pengujian *thermography*, *phase* S-T mengalami suhu berlebih. Jika melihat dari titik merah yang ditandai bahwa menunjukkan bahwa pada titik tersebut merupakan titik terpanas dan berdasarkan termogram titik pada *box* 1 menghasilkan warna yang paling cerah dan mencolok yang menandakan bahwa pada titik tersebut *hotspot* terjadi. Titik tersebut jika dilihat berada pada antara konduktor kabel terminasi dan *connector* (skun) yang berfungsi sebagai penghubung.

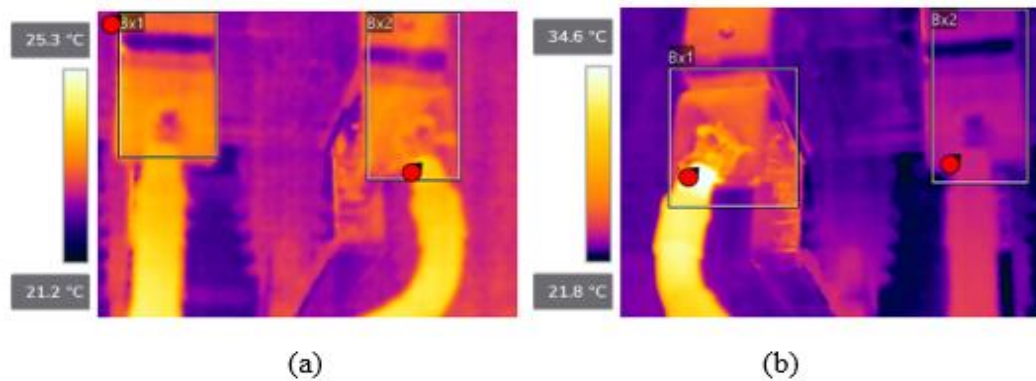
Melihat lebih jauh dalam menganalisa hasil pengujian *thermography* tidak hanya dilakukan dengan melihat gambar hasil termogram, melainkan juga dapat dilihat dari grafik *range* pengukuran yang dihasilkan oleh setiap kotak pada tiap *box* baik pada *phase* R-S dan S-T yang dijadikan analisa dalam terjadinya panas pada objek yang diteliti. Grafik ini dapat melihat *range* suhu yang terjadi pada hasil termograms berdasarkan tingkatan warna yang dihasilkan untuk memudahkan dalam melihat *hotspot* yang terjadi pada terminasi kabel koneksi panel UMVB HWP A, dengan begitu akan terlihat letak *hotspot* yang terjadi. Analisis yang dilakukan melalui hasil grafik pengujian *thermography* pada minggu ke-2 dapat dilihat seperti pada Gambar 4.9 sebagai berikut.



Gambar 4.8 Grafik *Range* Pengukuran Panas Hasil Pengujian *Thermography* UMVB HWP A Minggu ke-2, (a) *Phase R-S*, (b) *Phase S-T*

Berdasarkan Gambar 4.9, di atas merupakan grafik hasil pengujian *thermography* yang terjadi di setiap kotak baik *box* 1 dan 2 di *phase R-S* dan *S-T* sesuai Gambar 4.9. Dilihat dari grafik pada *phase R-S* di *box* 1 suhu mula-mula terjadi di atas 21,5°C dan tertinggi berada di bawah 22,5°C, sedangkan pada *box* 2 suhu mula-mula berada di bawah 22,1°C dan tertinggi berada di atas 22,3°C. Perbedaan suhu yang terjadi diantara kedua *box* berdasarkan grafik masih berjarak sedikit yang menandakan bahwa perubahan suhu diantara keduanya masih dalam kondisi baik atau tidak terlihat adanya kelainan yang terjadi pada salah satu *phase* diantara *phase R-S*, sebaliknya kondisi berbeda yang terjadi dengan *phase S-T*.

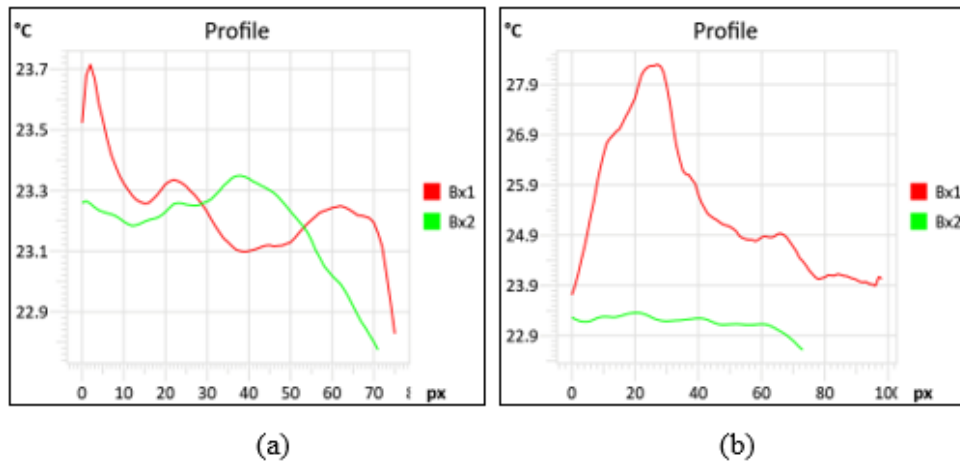
Grafik yang dihasilkan pada *phase S-T* di *box* 1 suhu mula-mula terjadi di bawah 21,9°C dan suhu tertinggi terjadi di bawah 28,9°C, sedangkan pada *box* 2 suhu mula-mula terjadi di bawah 21,9°C dan suhu tertinggi terjadi di bawah 22,9°C. Perbedaan suhu yang terjadi diantara kedua *box* pada *phase S-T* mengalami perbedaan yang menunjukkan terjadinya suhu abnormal. Hal ini terlihat jelas pada termogram dimana terlihat bahwa warna termogram di sekitar objek lebih gelap dibanding *phase R-S* dan pada objek terdapat kelainan tepatnya pada *box* 1 pada titik yang berwarna merah dengan kondisi warna objek yang menyala terang. Untuk itu perlu dilakukan pengujian berlanjut. Selanjutnya hasil pengujian *thermography* yang terjadi pada minggu ke-3 dapat dilihat melalui hasil termogram seperti Gambar 4.10 sebagai berikut.



Gambar 4.9 Termograms Pengujian *Thermography* pada Terminasi Kabel Koneksi Panel UMVB HWP A Minggu ke-3, (a) *Phase R-S*, dan (b) *Phase S-T*

Berdasarkan Gambar 4.10, di atas merupakan *visual thermal* (termogram) yang dihasilkan pada pengujian *thermography* pada minggu ke-3 dengan *phase R-S* pada bagian (a) dan *S-T* pada bagian (b). Dilihat dari data hasil termogram pengujian minggu ke-3, terlihat bahwa pada *phase R-S range* yang terjadi berkisar antara 21,2°C sampai 25,3°C. Warna panas yang terjadi pada sekitar objek kabel *phase R-S* berwarna terang yang menandakan *range* suhu antara kedua *phase* berjarak dekat dari minimum sampai maksimum, dan warna pada objek benda tidak menunjukkan kelainan karena dalam kondisi normal baik pada *box 1* dan *2*. Titik terpanas yang terjadi ditandai dengan titik berwarna merah, sebaliknya yang terjadi *phase S-T*.

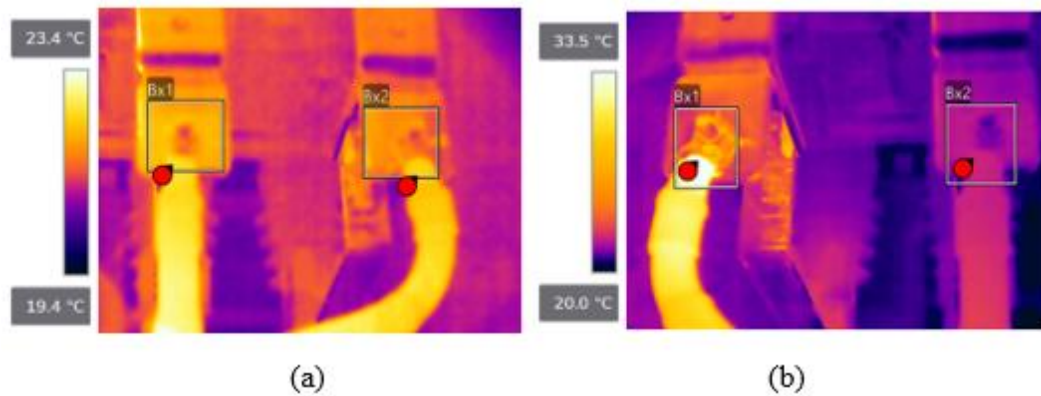
Hasil termogram yang terjadi pada *phase S-T* pengujian minggu ke-3 terlihat bahwa *range* suhu yang terjadi berkisar antara 21,8°C sampai 34,6°C. *Range* suhu yang terjadi antara kedua *phase* berjarak jauh sehingga menyebabkan terjadinya suhu abnormal. Warna pada sekitar objek redup menunjukkan bahwa *range* yang digunakan berjarak jauh dari minimum ke maksimum. Berdasarkan termogram terlihat bahwa titik terpanas yang terjadi sesuai titik merah dimana pada *box 1* terjadi diantara konduktor kabel dan *connector* (skun) dengan warna terang menyala pada objek, sedangkan pada *box 2* tidak menunjukkan adanya kelainan pada objek. Perbedaan yang terlihat jelas antara *box 1* dan *box 2* pada *phase S-T* menunjukkan terjadinya suhu abnormal. Adapun grafik hasil pengujian *thermography* yang terjadi pada minggu ke-3 sesuai dengan Gambar 4.11 sebagai berikut.



Gambar 4.10 Grafik *Range* Pengukuran Panas Hasil Pengujian *Thermography* UMVB HWP A Minggu ke-3, (a) *Phase R-S*, (b) *Phase S-T*

Berdasarkan Gambar 4.11, di atas merupakan grafik hasil pengujian *thermography* yang terjadi pada minggu ke-3 dimana pada bagian (a) adalah *phase R-S*, dan bagian (b) adalah *phase S-T*. Dilihat dari grafik hasil pengujian *thermography* yang terjadi pada *phase R-S* dimana pada *box 1* suhu tertinggi berada pada 23,7°C dan terendah terjadi di bawah 22,9°C, sedangkan yang terjadi pada *box 2* yaitu suhu tertinggi berada di atas 23,3°C dan terendah terjadi di bawah 22,9°C. Perbedaan suhu yang terjadi antara *box 1* dan 2 tidak mengalami perbedaan yang jauh, sehingga dapat dikatakan kondisi masih dalam keadaan normal. Kenaikan suhu mula-mula sampai akhir tidak menunjukkan terjadinya kelainan pada objek, sedangkan berbeda dengan yang terjadi pada *phase S-T*.

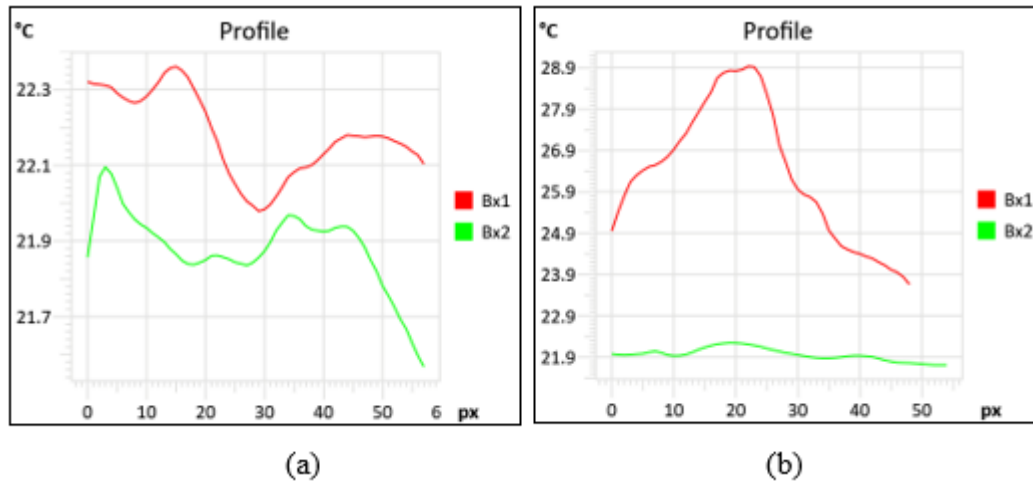
Grafik hasil pengujian *thermography* yang terjadi pada *phase S-T* terlihat bahwa pada *box 1* suhu tertinggi terjadi di atas 27,9°C dan terendah terjadi di bawah 23,9°C, sedangkan yang terjadi pada *box 2* dimana suhu tertinggi terjadi di atas 22,9°C dan suhu terendah terjadi di bawah 22,9°C. Perbedaan suhu yang terjadi antara *box 1* dan 2 mengalami kenaikan tinggi, sehingga suhu abnormal terlihat sangat jelas. Kenaikan suhu pada *box 2* rendah sehingga tidak bermasalah. Sedangkan suhu pada *box 1* terjadi kenaikan tinggi, hal ini menunjukkan bahwa objek pada *box 1* mengalami kelainan dan perlu dilakukan *monitoring* lebih lanjut. Adapun hasil pengujian *thermography* yang terjadi pada minggu ke-4 dapat dilihat melalui hasil termogram seperti Gambar 4.12 sebagai berikut.



Gambar 4.11 Termograms Pengujian *Thermography* pada Terminasi Kabel Koneksi Panel UMVB HWP A Minggu ke-4, (a) *Phase R-S*, dan (b) *Phase S-T*

Berdasarkan Gambar 4.12, di atas merupakan termogram hasil pengujian *thermography* yang dilakukan pada minggu ke-4 dengan *phase R-S* pada bagian (a) dan *phase S-T* pada bagian (b). Dilihat dari termogram hasil pengujian *thermography* pada minggu ke-4 tepatnya pada *phase R-S* mengalami *range* suhu minimal bernilai 19,4°C dan maksimal berada pada 23,4°C. *Range* suhu yang terjadi pada *phase R-S* berjarak berdekatan yang menyebabkan hasil termogram pada sekitar objek benda berwarna cerah sesuai indikator warna *range* suhu pada sebelah kiri termogram. Titik terpanas pada objek terjadi dengan ditandainya titik merah pada kotak setiap *box*, objek pada *phase R-S* tidak menunjukkan adanya kelainan dikarenakan warna termogram masih dalam keadaan normal, sebaliknya yang terjadi pada *phase S-T*.

Termogram hasil pengujian *thermography* yang terjadi pada *phase S-T* di minggu ke-3 menunjukkan bahwa *range* suhu minimal sebesar 20,0°C dan maksimal sebesar 33,5°C. *Range* suhu yang terjadi pada *phase S-T* mengalami perbedaan yang sangat tinggi yang menyebabkan warna termogram pada sekitar objek berwarna redup dan berdasarkan pengukuran pada *phase S-T* mengalami suhu abnormal. Titik terpanas terjadi dengan ditandainya titik merah pada kotak objek dimana kelainan objek yang terlihat jelas yaitu terjadi pada *box 1* dengan warna termogram yang terang menyala. Hal ini menunjukkan bahwa titik panas terjadi antara *connector* (skun) dan konduktor kabel koneksi dari busbar ke beban HWP A. Analisa yang dilakukan dapat juga dilihat melalui Gambar 4.13 hasil grafik pengujian *thermography* yang terjadi pada minggu ke-4 sebagai berikut.



Gambar 4. 12 Grafik *Range* Pengukuran Panas Hasil Pengujian *Thermography* UMVB HWP A Minggu ke-4, (a) *Phase R-S*, (b) *Phase S-T*

Berdasarkan Gambar 4.13, di atas merupakan grafik hasil pengujian *thermography* yang terjadi pada minggu ke-4 dimana *phase R-S* pada bagian (a) dan *phase S-T* pada bagian (b). Dilihat dari grafik hasil pengujian tepatnya pada *phase R-S* di *box 1*, suhu tertinggi terjadi di atas 22,3°C dan terendah terjadi di bawah 22,1°C. Sedangkan pada *box 2* *phase R-S* yaitu suhu tertinggi terjadi pada 22,1°C dan terendah terjadi di atas 21,5°C. Perbedaan suhu diantara *box 1* dan 2 tidak terpaut jauh yang menandakan bahwa perubahan suhu pada *phase R-S* dalam kondisi normal, sebaliknya yang terjadi pada *phase S-T*.

Grafik hasil pengujian *thermography* pada minggu ke-4 tepatnya pada *phase S-T*, jika dilihat dari grafik diketahui bahwa pada *box 1* terjadi suhu tertinggi tepat pada 28,9°C dan terendah terjadi di bawah 23,9°C. Sedangkan yang terjadi pada *box 2* *phase S-T* yaitu suhu tertinggi terjadi di atas 21,9°C dan terendah terjadi di bawah 21,9°C. Perbedaan suhu pada *phase S-T* pada *box 1* dan 2 terpaut jauh yang menyebabkan kondisi objek pada *phase S-T* dikatakan mengalami suhu abnormal. Pola grafik yang terjadi pada *phase S-T* relatif sama dengan *monitoring* tiap minggunya. Titik terpanas yang terjadi pada objek berada pada *box 1* yaitu suhu tertinggi pada grafik *range* pengukuran terjadi tepat di 28,9°C, sehingga berdasarkan hasil warna panas yang dihasilkan termograms dapat memperlihatkan *hotspot* yang terjadi pada objek dengan cukup jelas.

4.4 Solusi Permasalahan

Penelitian ini memiliki masalah yaitu terjadinya suhu abnormal yang terjadi pada *phase* S-T melalui pengujian *thermography*. Dalam pengukuran nilai suhu dan berdasarkan *thermogram* permasalahan tepatnya berada pada objek di salah satu *phase* dimana *hotspot* terlihat diantara konduktor kabel dan *connector* (skun) yang menghubungkan kabel *connection* dan busbar panel kubikel. Apabila kondisi ini dibiarkan lebih lama maka akan dapat mengalami permasalahan yang lebih parah lagi mengingat hasil pengujian *thermography* mengindikasikan bahwa kondisi *phase* S-T dalam level *monitoring* dan suhu abnormal, maka dari itu solusi yang didapatkan untuk menanggulangi masalah agar objek dengan kondisi *hotspot* dan suhu abnormal dapat kembali normal yaitu dengan mengganti *connector* (skun) dengan bahan yang lebih baik dan mengganti konduktor kabel lama dengan yang baru. *Connector* (skun) yang digunakan pada saat melakukan pengujian masih menggunakan bahan yang lama yaitu *full* tembaga dimana bahan ini mudah menghasilkan panas namun tidak diimbangi dengan buangan panas yang baik. Bahan yang bisa dijadikan rekomendasi yaitu bahan bimetal yang merupakan campuran antara aluminium dan tembaga, sehingga masih menghasilkan konduktivitas yang baik serta buangan panas baik yang menjadikan tidak mudah korosif.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dengan dibantu menggunakan metode penyelesaian masalah *fishbone* diagram, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan standar *thermography* NEMA yang digunakan dalam pengujian *thermography* pada terminasi kabel koneksi panel kubikel MV *switchgear* transmisi 6.3 kV. Terdapat satu panel yang mengalami suhu abnormal yaitu UMVB HWP A yaitu sebesar 11,2°C.
2. Berdasarkan pengamatan termograms hasil pengujian *thermography* terminasi kabel koneksi panel UMVB HWP A terdapat titik panas (*hotspot*) yang terletak diantara konduktor kabel dan *connector* (skun) menjadikan kenaikan suhu abnormal.
3. *Overheating* yang menimbulkan *hotspot* pada panel UMVB HWP A di *phase* S-T dapat dipulihkan dengan mengganti konduktor kabel yang sudah lama terpasang dan *connector* (skun) lama yang berbahan *full* tembaga dengan bahan yang lebih baik dengan harga yang terjangkau.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan penelitian ini, yaitu:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat membuat dan menggunakan aplikasi dalam melakukan *monitoring* dalam melakukan pengujian *thermography* untuk memperkuat hasil penelitian yang diperoleh. Hal ini dapat memudahkan dalam melakukan *monitoring* panel yang tidak perlu dilakukan secara langsung, namun bisa melalui sistem yang telah dirancang.
2. Rentang waktu pengujian perlu dilakukan dalam kurun waktu perhari, sehingga dapat mengetahui kondisi terminasi kabel koneksi panel kubikel lebih *detail* lagi.

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.

LAMPIRAN

Lampiran A Perhitungan Nilai Ketidakseimbangan Tegangan

1. Ketidakseimbangan Tegangan Minggu Ke-1

$$U_V = \frac{\text{Deviasi tegangan phase to phase}}{\text{Nilai rata - rata tegangan phase to phase}} \times 100\%$$

$$U_V = \frac{13.7}{6318.3} \times 100\% = 0.2\%$$

2. Ketidakseimbangan Tegangan Minggu Ke-2

$$U_V = \frac{\text{Deviasi tegangan phase to phase}}{\text{Nilai rata - rata tegangan phase to phase}} \times 100\%$$

$$U_V = \frac{13.7}{6320.3} \times 100\% = 0.2\%$$

3. Ketidakseimbangan Tegangan Minggu Ke-3

$$U_V = \frac{\text{Deviasi tegangan phase to phase}}{\text{Nilai rata - rata tegangan phase to phase}} \times 100\%$$

$$U_V = \frac{13.7}{6323.3} \times 100\% = 0.2\%$$

4. Ketidakseimbangan Tegangan Minggu Ke-4

$$U_V = \frac{\text{Deviasi tegangan phase to phase}}{\text{Nilai rata - rata tegangan phase to phase}} \times 100\%$$

$$U_V = \frac{14}{6321} \times 100\% = 0.2\%$$

Lampiran B Perhitungan Nilai Ketidakseimbangan Arus

1. Ketidakseimbangan Arus Minggu Ke-1

$$U_I = \frac{\text{Deviasi arus phase}}{\text{Nilai rata - rata arus phase}} \times 100\%$$

$$U_I = \frac{0.7}{55.3} \times 100\% = 1.2\%$$

2. Ketidakseimbangan Arus Minggu Ke-2

$$U_I = \frac{\text{Deviasi arus phase}}{\text{Nilai rata - rata arus phase}} \times 100\%$$

$$U_I = \frac{1}{56} \times 100\% = 1.3\%$$

3. Ketidakseimbangan Arus Minggu Ke-3

$$U_I = \frac{\text{Deviasi arus phase}}{\text{Nilai rata - rata arus phase}} \times 100\%$$

$$U_I = \frac{1}{56} \times 100\% = 1.3\%$$

4. Ketidakseimbangan Arus Minggu Ke-4

$$U_I = \frac{\text{Deviasi arus phase}}{\text{Nilai rata - rata arus phase}} \times 100\%$$

$$U_I = \frac{1}{56} \times 100\% = 1.3\%$$

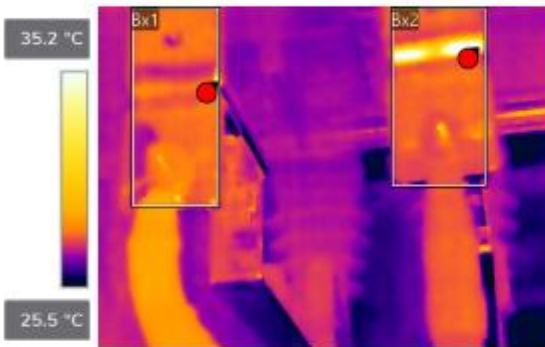
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography Incoming UMVB (F2) Connection S-T Januari 2023*



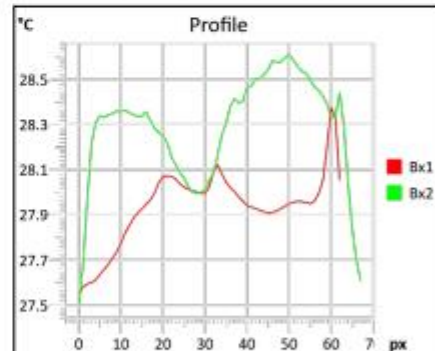
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location UMVB	Power Plant Incoming UMVB (F2) Connection S-T

Date of Inspection	: 5 Januari 2023
Inspected By	: Deri; Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	39.6 °C
Bx2	
Max	42.5 °C
Dt1	
Bx2.Max-Bx1.Max	3.0 °C



Grade Level **0**

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography* UMVB HWP A (F8)
 Connection S-T Minggu ke-3 Maret 2023 (Pengujian 1)



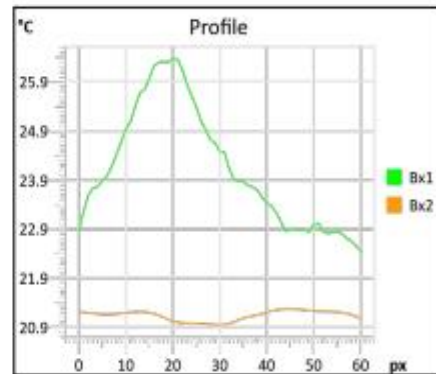
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location UMVB	Power Plant UMVB HWP A (F8) Connection S-T

Date of Inspection	: 28 Maret 2023
Inspected By	: Andika; Deri; Faiq



Measurements	
Dt1	
Bx1.Max-Bx2.Max	12.5 °C
Bx1	
Max	34.0 °C
Bx2	
Max	21.5 °C



Grade Level	Grade 1
-------------	---------

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

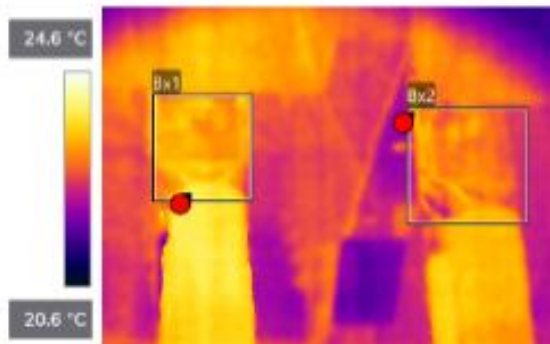
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography Incoming UMVB (F1) Connection R-S* Februari 2023



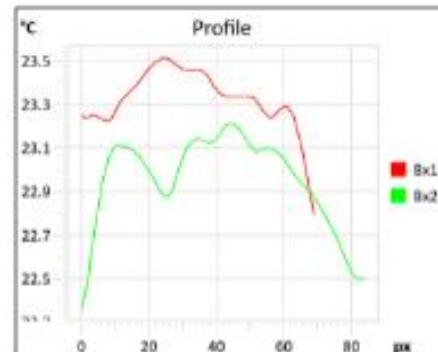
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location: UMVB	Power Plant Incoming UMVB (F1) Connection R-S

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri; Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	23.9 °C
Bx2	
Max	23.5 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx2.Max	0.4 °C



Grade Level **C**

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

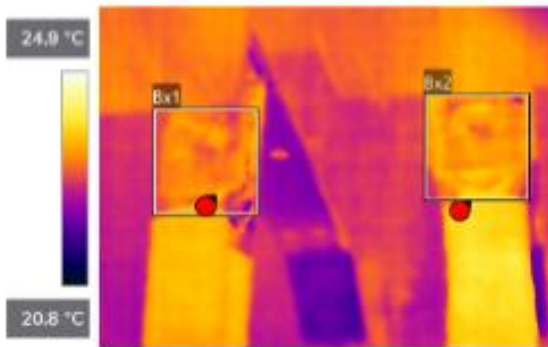
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography Incoming UMVB (F1) Connection S-T* Februari 2023



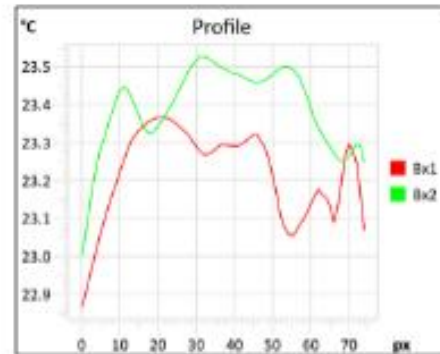
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	Incoming UMVB (F1) Connection S-T

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri; Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	24.0 °C
Bx2	
Max	23.9 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx2.Max	0.1 °C



Grade Level **0**

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

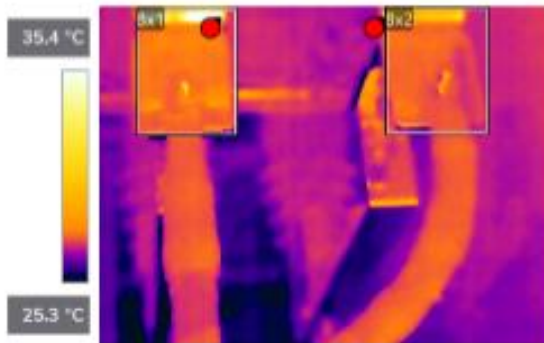
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography Incoming UMVB (F2) Connection R-S* Februari 2023



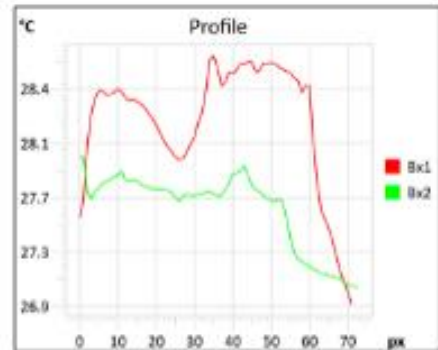
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	Incoming UMVB (F2) Connection R-S

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri; Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	42.4 °C
Bx2	
Max	38.1 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx2.Max	4.3 °C



Grade Level **0**

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

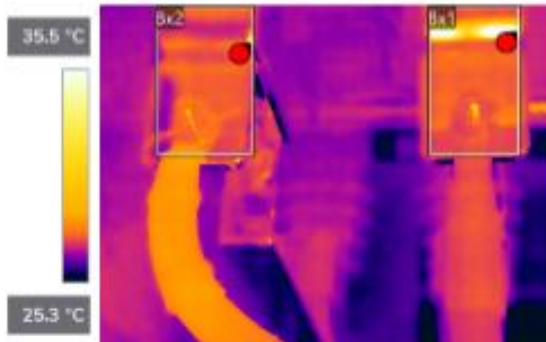
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography Incoming UMVB (F2) Connection S-T* Februari 2023



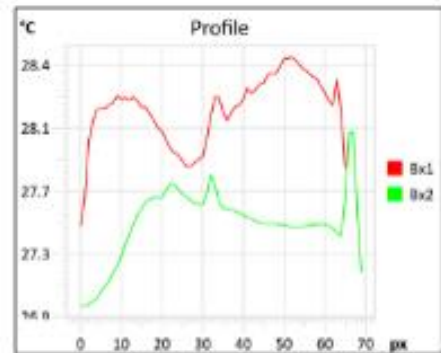
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	Incoming UMVB (F2) Connection S-T

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri; Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	46.6 °C
Bx2	
Max	41.9 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx2.Max	4.7 °C



Grade Level	C
-------------	---

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

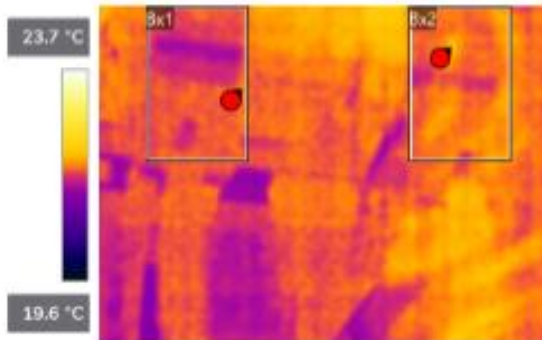
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography Incoming UMVB (F3) Connection R-S* Februari 2023



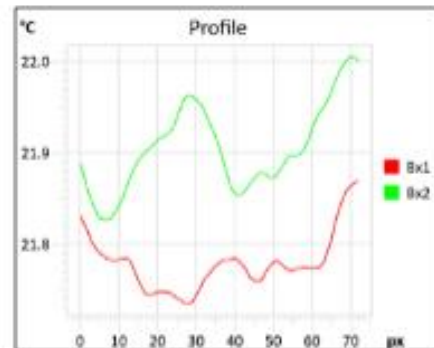
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	Incoming UMVB (F3) Connection R-S

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri; Fsiq



Measurements	
Bx1	
Max	21.9 °C
Bx2	
Max	22.1 °C
DT1	
Bx2.Max-Bx1.Max	0.2 °C



Grade Level **0**

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

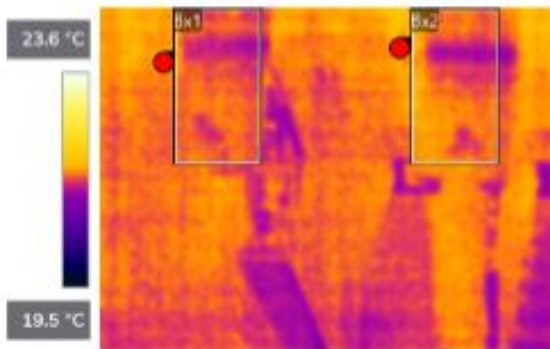
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography Incoming UMVB (F3) Connection S-T* Februari 2023



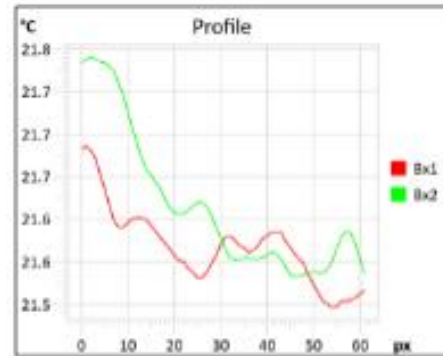
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	Incoming UMVB (F3) Connection S-T

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri; Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	21.8 °C
Bx2	
Max	21.8 °C
Dt1	
Bx2.Max-Bx1.Max	0.1 °C



Grade Level **0**

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

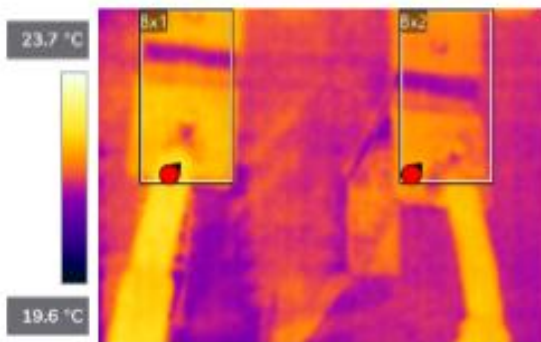
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography* UMVB LRVP B (F7) Connection R-S Februari 2023



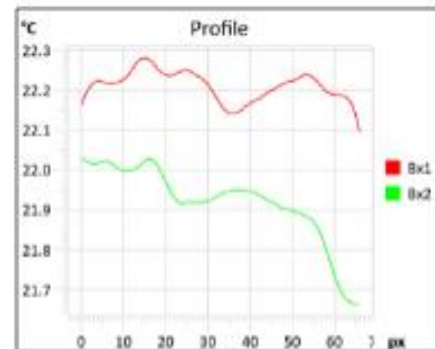
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB LRVP B (F7) Connection R-S

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri; Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	22.6 °C
Bx2	
Max	22.2 °C
Dt1	
Bx1.Max-Reference temp.	22.6 °C



Grade Level Grade 1

Analysis & Recommended Action

Monitoring Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

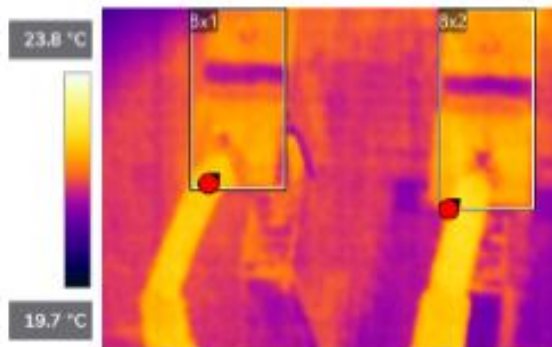
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography* UMVB LRVP B (F7) *Connection S-T* Februari 2023



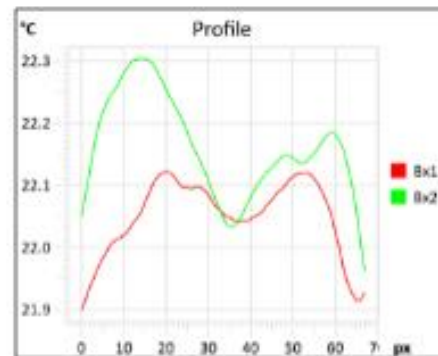
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB LRVP B (F7) Connection S-T

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri, Faiz



Measurements	
Bx1	
Max	22.5 °C
Bx2	
Max	22.7 °C
Dt1	
Bx2.Max-Bx1.Max	0.2 °C



Grade Level	0
-------------	---

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

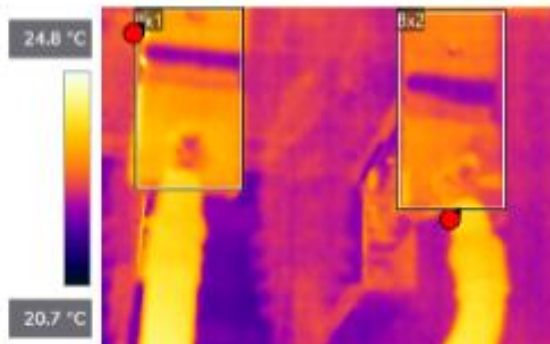
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography* UMVB HWP A (F8) Connection R-S Februari 2023



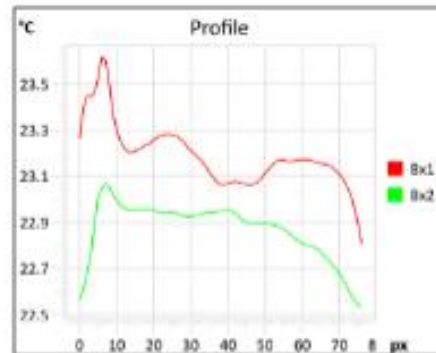
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location:	Power Plant
UMVB	UMVB HWP A (F8) Connection R-S

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri; Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	24.9 °C
Bx2	
Max	23.8 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx2.Max	1.1 °C



Grade Level	0
-------------	---

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography* UMVB HWP A (F8) Connection S-T Februari 2023



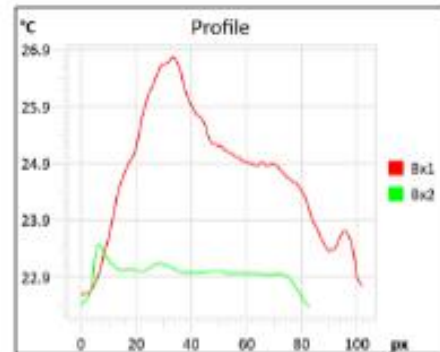
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB HWP A (F8) Connection S-T

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri; Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	36.1 °C
Bx2	
Max	24.6 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx2.Max	11.5 °C



Grade Level	Grade 1
-------------	---------

Analysis & Recommended Action

Monitoring Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

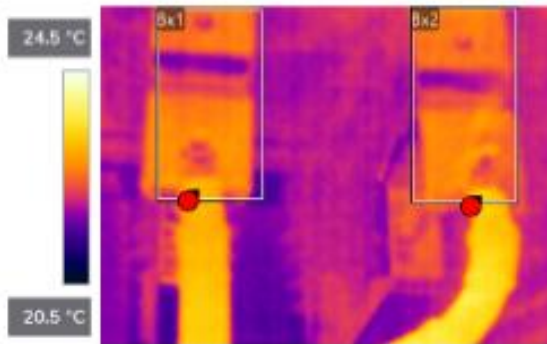
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography* UMVB HWP B (F9) Connection R-S Februari 2023



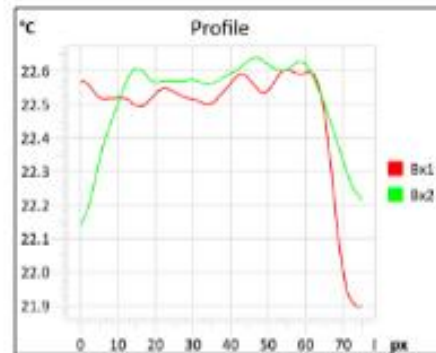
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB HWP B (F9) Connection R-S

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri, Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	23.1 °C
Bx2	
Max	23.3 °C
Dt1	
Bx2.Max-Bx1.Max	0.2 °C



Grade Level	0
-------------	---

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

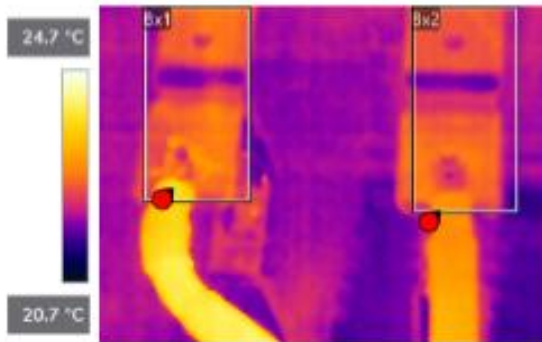
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography* UMVB HWP B (F9) *Connection S-T* Februari 2023



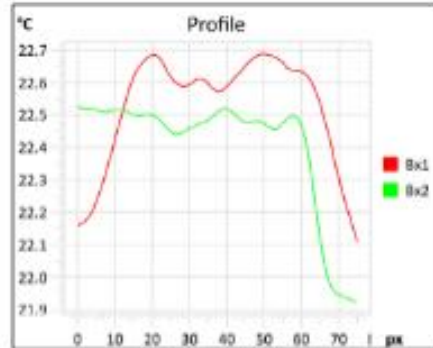
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB HWP B (F9) Connection S-T

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri; Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	23.8 °C
Bx2	
Max	23.0 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx2.Max	0.8 °C



Grade Level **0**

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

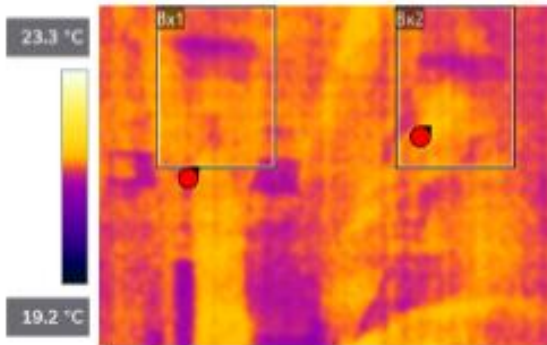
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography* UMVB CT A (F10) *Connection R-S* Februari 2023



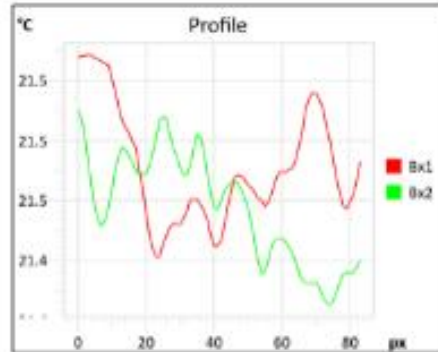
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB CT A (F10) Connection R-S

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri; Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	21.6 °C
Bx2	
Max	21.7 °C
Dt1	
Bx2.Max-Bx1.Max	0.1 °C



Grade Level **0**

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

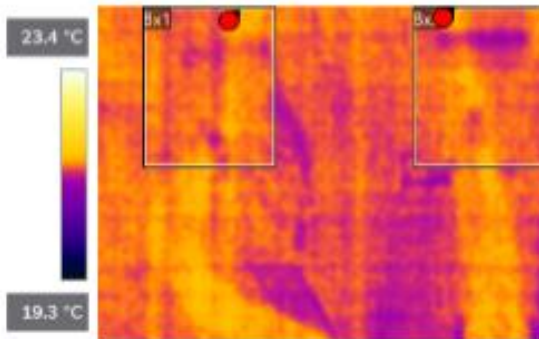
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography* UMVB CT A (F10) Connection S-T Februari 2023



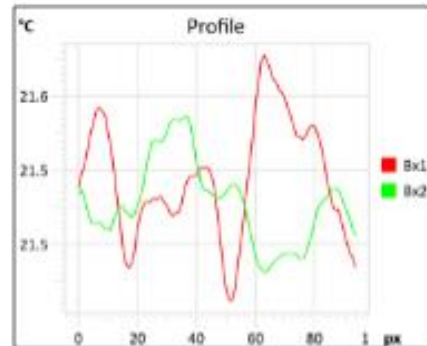
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB CT A (F10) Connection S-T

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri; Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	21.7 °C
Bx2	
Max	21.7 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx1.Max	0.0 °C



Grade Level 0

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

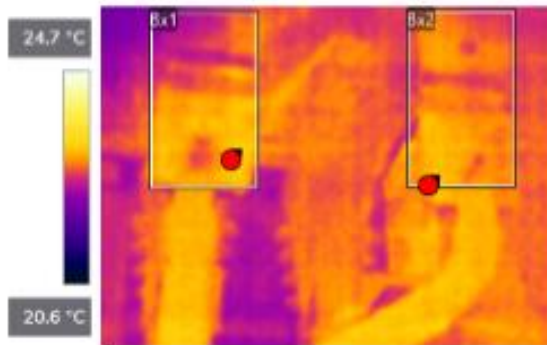
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography* UMVB CT B (F11) *Connection R-S* Februari 2023



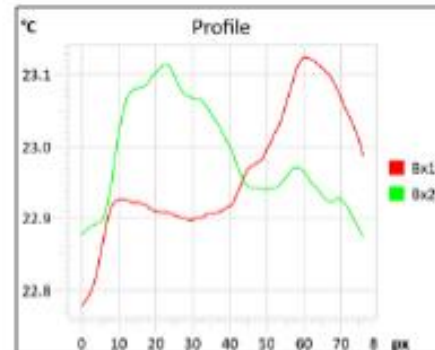
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB CT B (F11) Connection R-S

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri; Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	23.3 °C
Bx2	
Max	23.2 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx2.Max	0.1 °C



Grade Level **0**

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

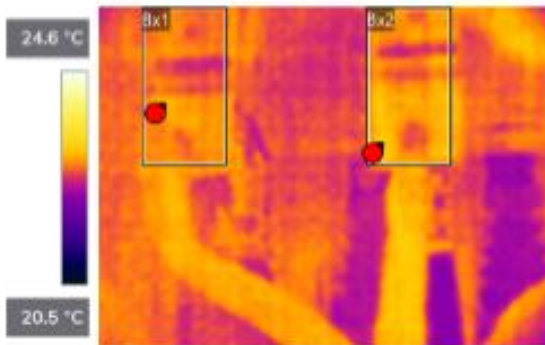
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography* UMVB CT B (F11) *Connection S-T* Februari 2023



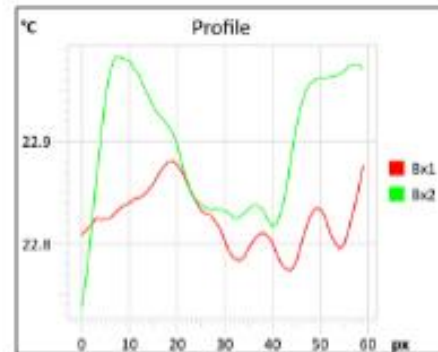
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB CT B (F11) Connection S-T

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri, Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	23.0 °C
Bx2	
Max	23.1 °C
Dt1	
Bx2.Max-Bx1.Max	0.1 °C



Grade Level **0**

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

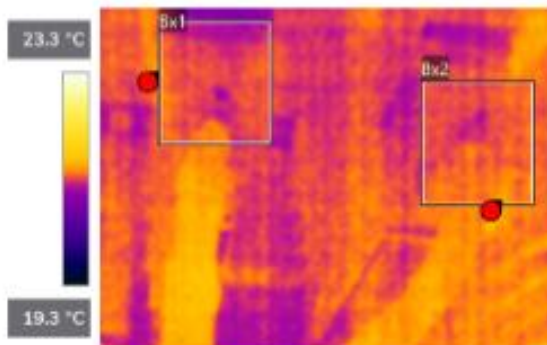
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography* UMVB CT C (F12) *Connection R-S* Februari 2023



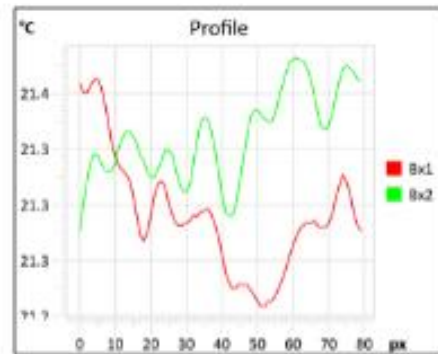
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB CT C (F12) Connection R-S

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri, Faiz



Measurements	
Bx1	
Max	21.5 °C
Bx2	
Max	21.6 °C
Dt1	
Bx2.Max-Bx1.Max	0.1 °C



Grade Level 0

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

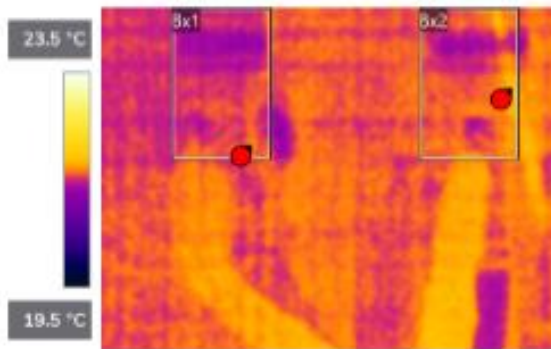
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography* UMVB CT C (F12) *Connection S-T* Februari 2023



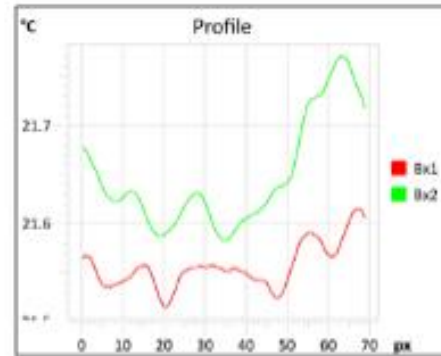
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB CT C (F12) Connection S-T

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri; Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	21.7 °C
Bx2	
Max	21.9 °C
Dt1	
Bx2.Max-Bx1.Max	0.2 °C



Grade Level **0**

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

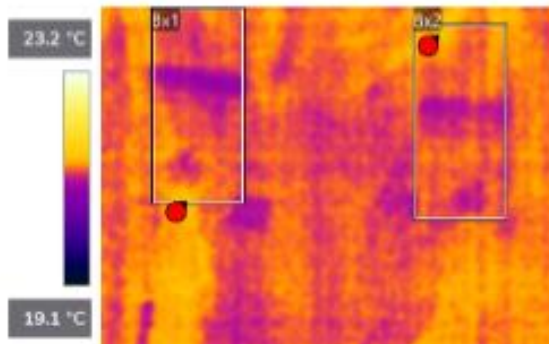
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography* UMVB CT D (F13) *Connection R-S* Februari 2023



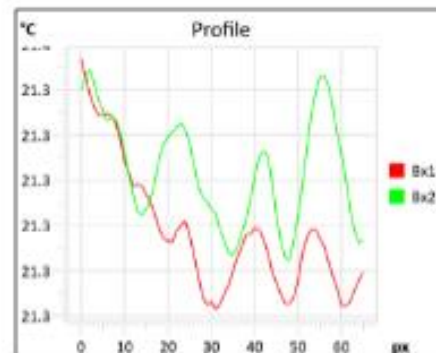
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location UMVB	Power Plant UMVB CT D (F13) Connection R-S

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri; Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	21.6 °C
Bx2	
Max	21.6 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx1.Max	0.0 °C



Grade Level	(1)
-------------	-----

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

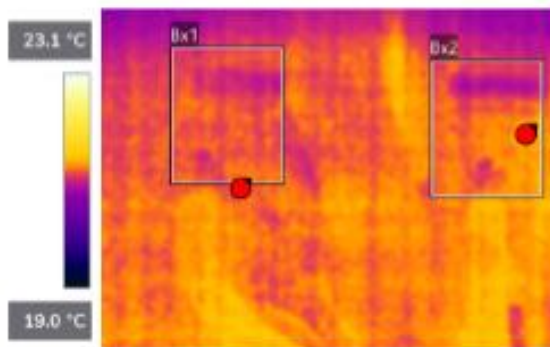
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography* UMVB CT D (F13) *Connection S-T* Februari 2023



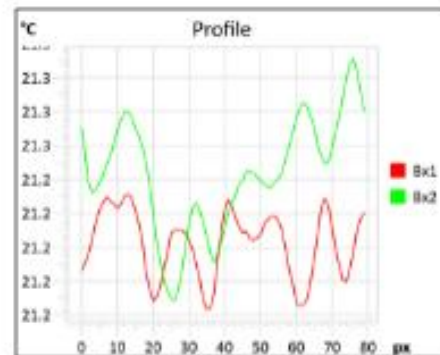
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB CT D (F13) Connection S-T

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri; Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	21.3 °C
Bx2	
Max	21.5 °C
Dt1	
Bx2.Max-Bx1.Max	0.1 °C



Grade Level	0
-------------	---

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

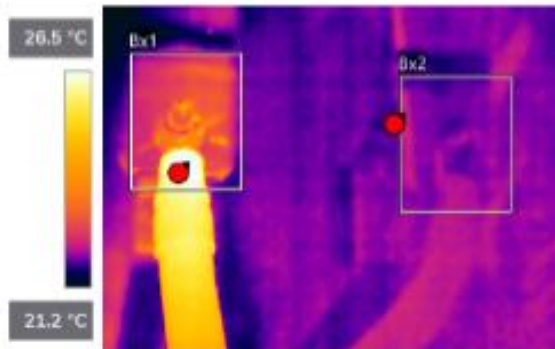
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography* UMVB CT E (F14) Connection R-S Februari 2023



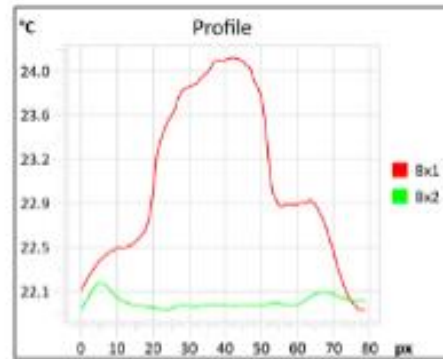
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location: UMVB	Power Plant UMVB CT E (F14) connection R-S

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri; Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	26.7 °C
Bx2	
Max	22.3 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx2.Max	4.4 °C



Grade Level **0**

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

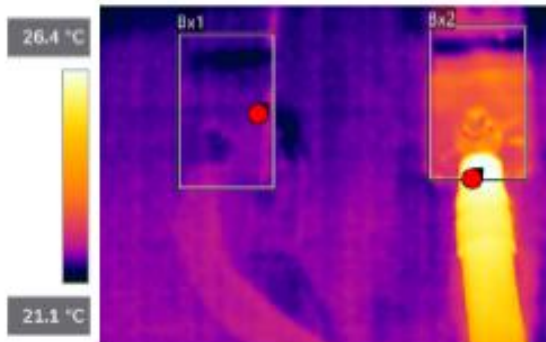
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography* UMVB CT E (F14) *Connection S-T* Februari 2023



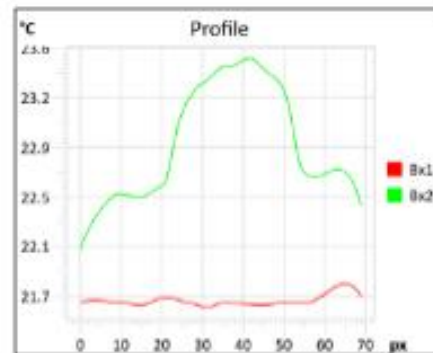
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB CT E (F14) connection S-T

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri; Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	22.0 °C
Bx2	
Max	26.6 °C
Dt1	
Bx2.Max-Bx1.Max	4.6 °C



Grade Level	0
-------------	---

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

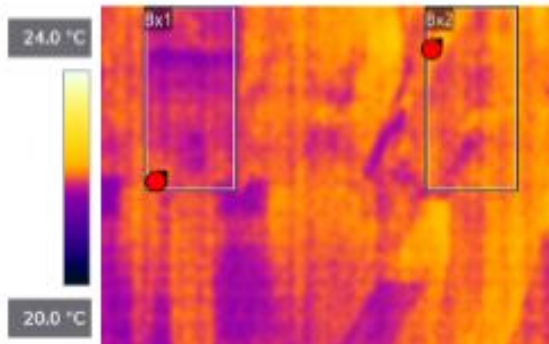
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography* UMVB Raw Water (F18) Connection R-S Februari 2023



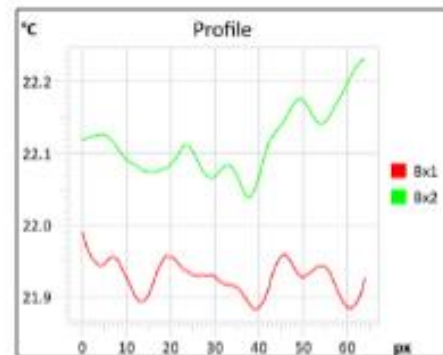
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB Raw Water (F18) connection R-S

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri, Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	22.1 °C
Bx2	
Max	22.3 °C
Dt1	
Bx2.Max-Bx1.Max	0.2 °C



Grade Level **0**

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

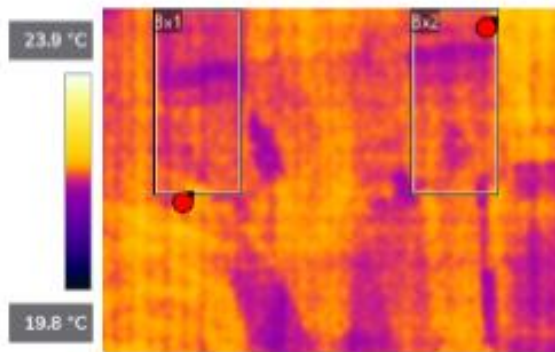
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography* UMVB Raw Water (F18) Connection S-T Februari 2023



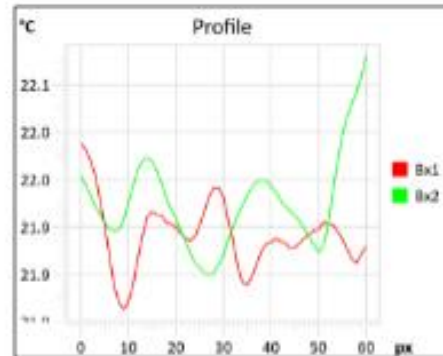
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB Raw Water (F18) connection S-T

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri; Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	22.2 °C
Bx2	
Max	22.2 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx2.Max	0.0 °C



Grade Level **0**

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

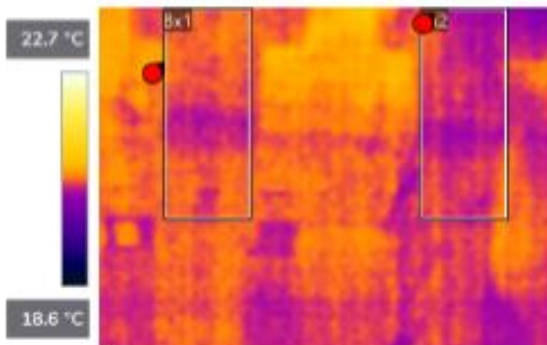
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography* UMVB Steamfield (F19) Connection R-S Februari 2023



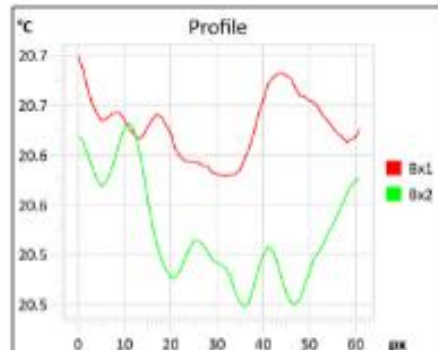
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB Steamfield (F19) connection R-S

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri; Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	20.9 °C
Bx2	
Max	20.8 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx2.Max	0.1 °C



Grade Level **0**

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

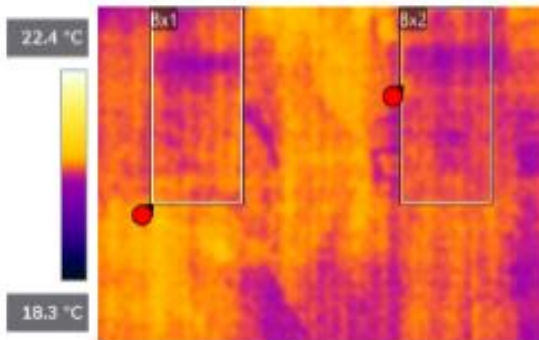
Lampiran C Form Hasil Pengujian *Thermography* UMVB Steamfield (F19) Connection S-T Februari 2023



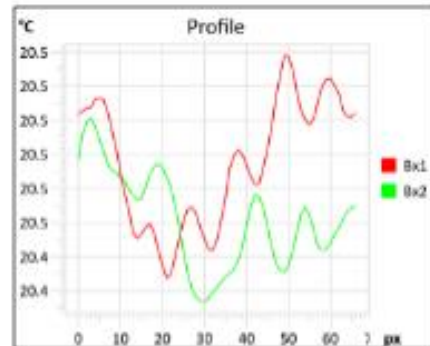
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB Steamfield (F19) connection S-T

Date of Inspection	: 1 Februari 2023
Inspected By	: Deri; Faiq



Measurements	
Bx1	
Max	20.7 °C
Bx2	
Max	20.6 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx2.Max	0.1 °C



Grade Level **C**

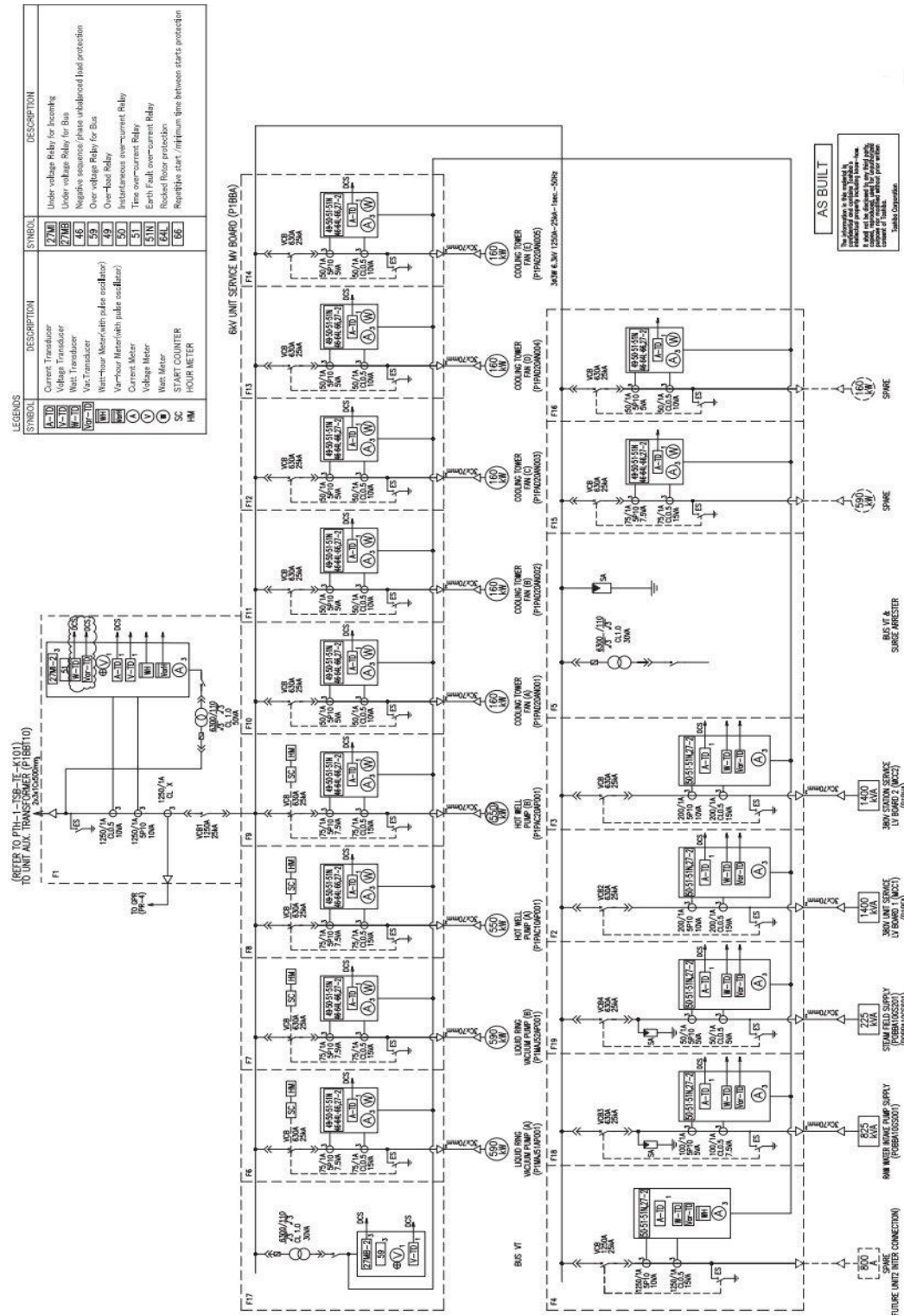
Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

Lampiran D Single Line Diagram (SLD) Sistem Transmisi MV Switchgear 6.3 Kv

Kv



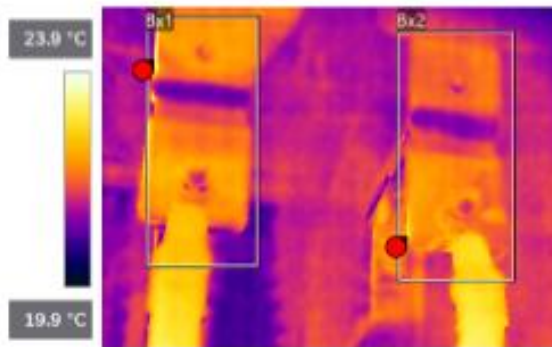
Lampiran E Hasil Pengujian *Thermography* UMVB HWP A (F8) Maret Minggu ke-1 Phase R-S



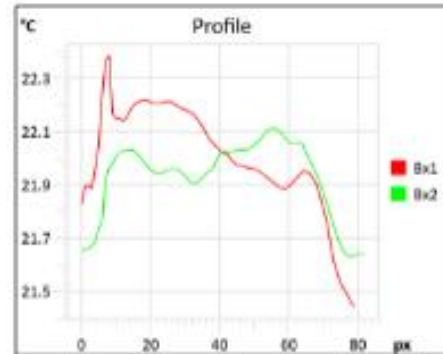
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location: UMVB	Power Plant UMVB HWP A (F8) Connection R-S

Date of Inspection	: 7 Maret 2023
Inspected By	: Deri, Faig, Andika



Measurements	
Bx1	
Max	23.6 °C
Bx2	
Max	23.3 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx2.Max	0.4 °C



Grade Level	0
-------------	---

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

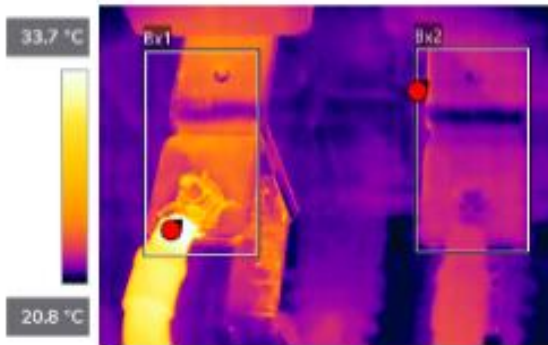
Lampiran E Hasil Pengujian *Thermography* UMVB HWP A (F8) Maret Minggu ke-1 Phase S-T



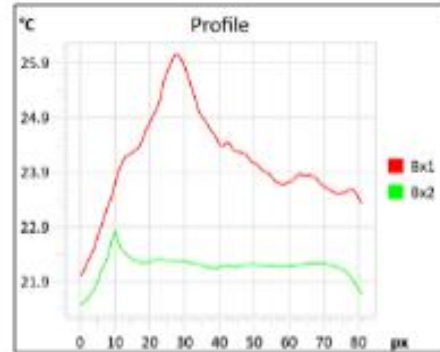
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB HWP A (F8) Connection S-T

Date of Inspection	: 7 Maret 2023
Inspected By	: Deri, Faig, Andika



Measurements	
Bx1	
Max	33.3 °C
Bx2	
Max	24.1 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx2.Max	11.2 °C



Grade Level

Analysis & Recommended Action

Monitor Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

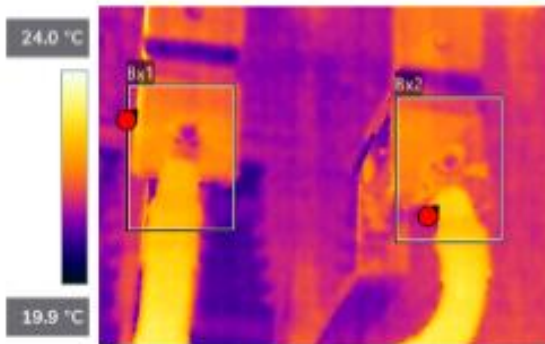
Lampiran E Hasil Pengujian *Thermography* UMVB HWP A (F8) Maret Minggu ke-2 Phase R-S



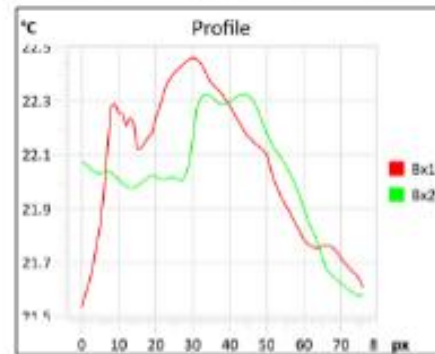
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB HWP A (F8) Connection R : S

Date of Inspection	: 14 Maret 2023
Inspected By	: Deri, Faig, Andika



Measurements	
Bx1	
Max	23.3 °C
Bx2	
Max	23.1 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx2.Max	0.2 °C



Grade Level **0**

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

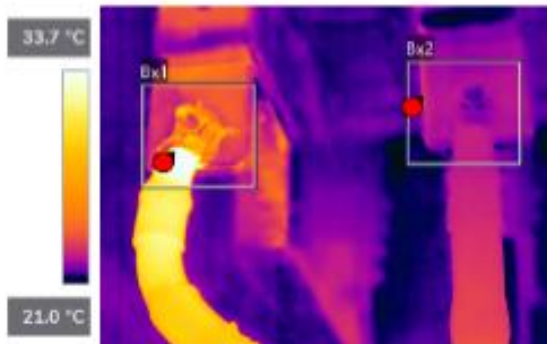
Lampiran E Hasil Pengujian *Thermography* UMVB HWP A (F8) Maret Minggu ke-2 Phase S-T



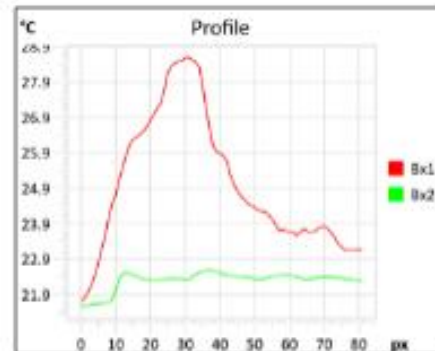
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB HWP A (F8) Connection S - T

Date of Inspection	: 14 Maret 2023
Inspected By	: Deri, Faiq, Andika



Measurements	
Bx1	
Max	35.4 °C
Bx2	
Max	23.3 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx2.Max	12.1 °C



Grade Level	Grade 1
--------------------	---------

Analysis & Recommended Action

Monitoring Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

Lampiran E Hasil Pengujian *Thermography* UMVB HWP A (F8) Maret Minggu ke-3 Phase R-S



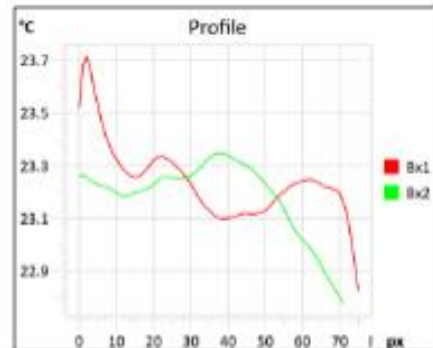
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB HWP A (F8) Connection R : S

Date of Inspection	: 20 Maret 2023
Inspected By	: Deri, Faiq, Andika



Measurements	
Bx1	
Max	24.6 °C
Bx2	
Max	24.2 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx2.Max	0.5 °C



Grade Level **0**

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

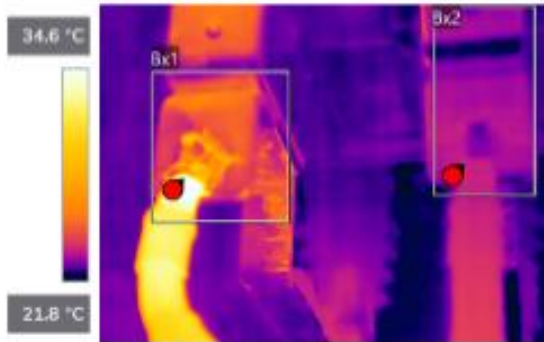
Lampiran E Hasil Pengujian *Thermography* UMVB HWP A (F8) Maret Minggu ke-3 Phase S-T



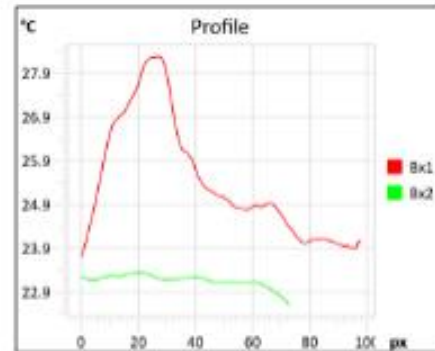
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB HWP A (F8) Connection S- T

Date of Inspection	: 20 Maret 2023
Inspected By	: Deri, Faig, Andika



Measurements	
Bx1	
Max	36.1 °C
Bx2	
Max	23.8 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx2.Max	12.3 °C



Grade Level	1
-------------	---

Analysis & Recommended Action

Monitoring Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

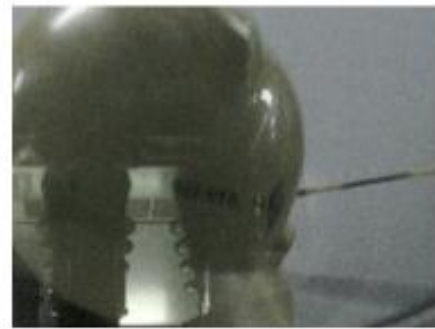
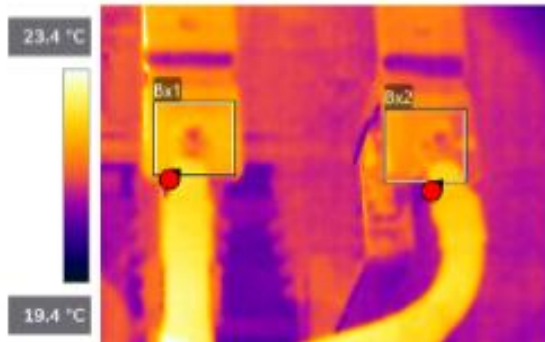
Lampiran E Hasil Pengujian *Thermography* UMVB HWP A (F8) Maret Minggu ke-4 Phase R-S



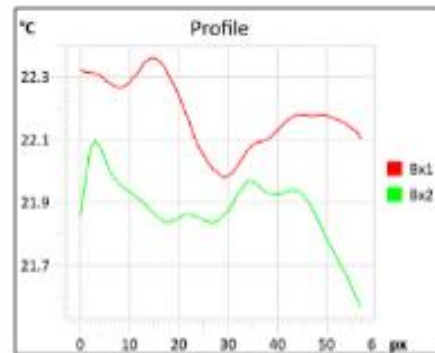
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB HWP A (F8) Connection R-S

Date of Inspection	: 28 Maret 2023
Inspected By	: Deri, Faiq, Andika
Magang	



Measurements	
Bx1	
Max	22.6 °C
Bx2	
Max	22.5 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx2.Max	0.1 °C



Grade Level	0
-------------	---

Analysis & Recommended Action

Normal Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C

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



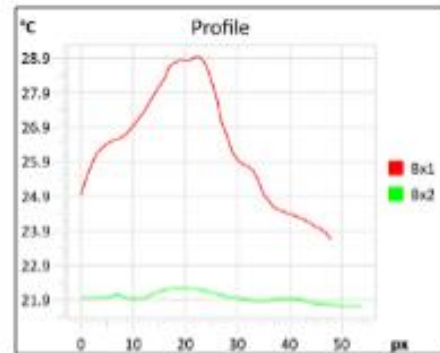
Thermography Inspection Report

Remarks	
Location	Power Plant
UMVB	UMVB HWP A (F8) Connection S-T

Date of Inspection	: 28 Maret 2023
Inspected By	: Deri, Faig, Andika
Megang	



Measurements	
Bx1	
Max	34.8 °C
Bx2	
Max	22.5 °C
Dt1	
Bx1.Max-Bx2.Max	12.3 °C



Grade Level	1
-------------	--

Analysis & Recommended Action

Monitoring Condition

Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Normal < 10°C	10°C < Monitor < 30°C	30°C < Significant < 50°	Unacceptable > 50°C