

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

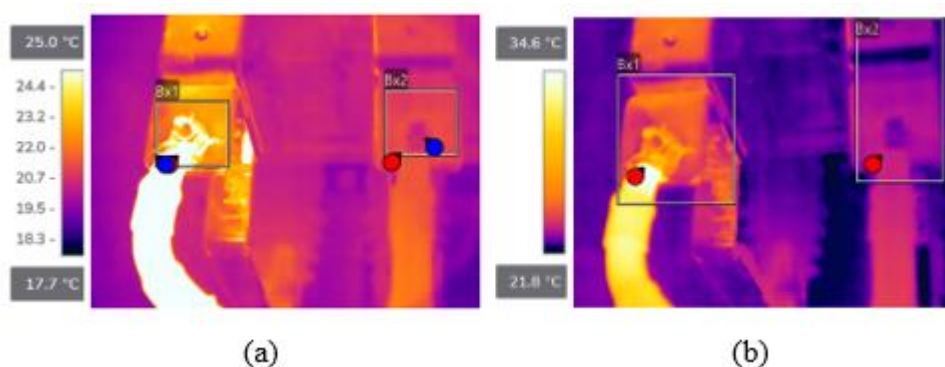
Bab ini akan menjelaskan hasil pengujian *infrared thermography* yang dilakukan di MV *switchgear* transmisi 6.3 kV pada tiap masing-masing panel kubikel, dan hasil setelah dilakukan perbaikan.

### 1.1 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 pengidentifikasi 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  $1.68 \times 10^{-8}$  dan konduktivitas sebesar  $5.96 \times 10^7$ . 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)	$\Delta T$ (°C)	Kondisi
Incoming UMVB (F1)	Connection R-S	23,9	23,5	<b>0,4</b>	Normal
Incoming UMVB (F1)	Connection S-T	24,0	23,9	<b>0,1</b>	Normal
Incoming UMVB (F2)	Connection R-S	42,4	38,1	<b>4,3</b>	Normal
Incoming UMVB (F2)	Connection S-T	46,6	41,9	<b>4,7</b>	Normal
Incoming UMVB (F3)	Connection R-S	21,9	22,1	<b>0,2</b>	Normal
Incoming UMVB (F3)	Connection S-T	21,8	21,8	<b>0,0</b>	Normal
UMVB LRVP B (F7)	Connection R-S	22,6	22,2	<b>0,4</b>	Normal
UMVB LRVP B (F7)	Connection S-T	22,5	22,7	<b>0,2</b>	Normal
UMVB HWP A (F8)	Connection R-S	24,9	23,8	<b>1,1</b>	Normal
UMVB HWP A (F8)	Connection S-T	36,1	24,6	<b>11,5</b>	Abnormal
UMVB HWP B (F9)	Connection R-S	23,1	23,3	<b>0,2</b>	Normal
UMVB HWP B (F9)	Connection S-T	23,8	23,0	<b>0,8</b>	Normal
UMVB CT A (F10)	Connection R-S	21,6	21,7	<b>0,1</b>	Normal
UMVB CT A (F10)	Connection S-T	21,7	21,7	<b>0,0</b>	Normal
UMVB CT B (F11)	Connection R-S	23,3	23,2	<b>0,1</b>	Normal
UMVB CT B (F11)	Connection S-T	23,0	23,1	<b>0,1</b>	Normal
UMVB CT C (F12)	Connection R-S	21,5	21,6	<b>0,1</b>	Normal
UMVB CT C (F12)	Connection S-T	21,7	21,9	<b>0,2</b>	Normal
UMVB CT D (F13)	Connection R-S	21,6	21,6	<b>0,0</b>	Normal
UMVB CT D (F13)	Connection S-T	21,3	21,5	<b>0,2</b>	Normal
UMVB CT E (F14)	Connection R-S	26,7	22,3	<b>4,4</b>	Normal
UMVB CT E (F14)	Connection S-T	22,0	26,6	<b>4,6</b>	Normal
UMVB Raw Water (F18)	Connection R-S	22,1	22,3	<b>0,2</b>	Normal
UMVB Raw Water (F18)	Connection S-T	22,2	22,2	<b>0,0</b>	Normal
UMVB Steamfield (F19)	Connection R-S	20,9	20,8	<b>0,1</b>	Normal
UMVB Steamfield (F19)	Connection S-T	20,7	20,6	<b>0,1</b>	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)	$\Delta T$ (°C)		B.1 (°C)	B.2 (°C)	$\Delta T$ (°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.

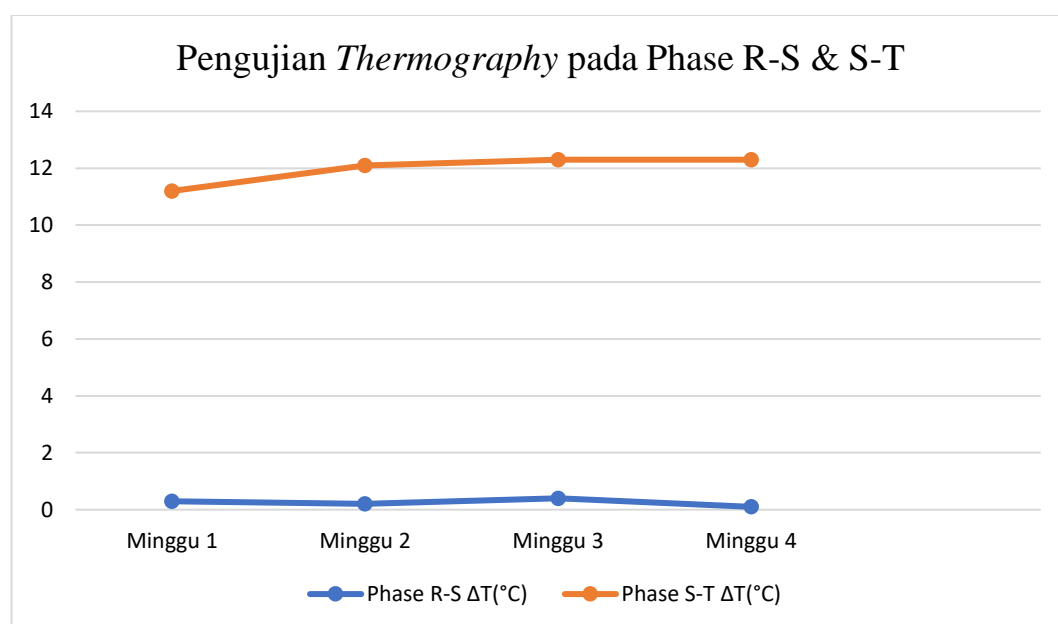
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Arus Panel Kubikel UMVB HWP A ketika Pengujian *Thermography*

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.

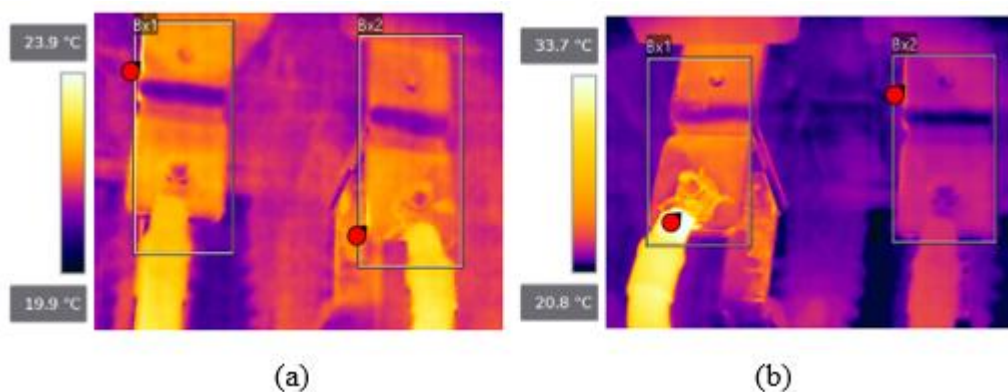
Melihat hasil data pengujian *thermography* yang dilakukan secara langsung selama satu bulan dengan *range* pengujian perminggu dapat dibuat grafik perubahan kenaikan suhu yang terjadi pada terminasi kabel koneksi di panel kubikel UMVB HWP A tepatnya *phase* R-S dan S-T dapat dilihat melalui Gambar 4.5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

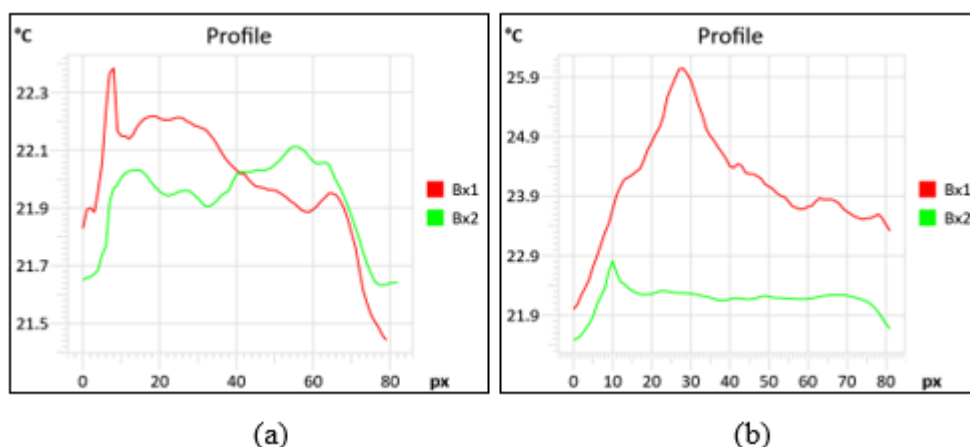
Dalam menganalisa lebih jauh terhadap penyebab terjadinya kenaikan suhu abnormal dapat dilihat dari pengujian *thermography* yang tidak hanya mengacu pada pengukuran kenaikan suhu, melainkan dapat diamati melalui gambar visual *thermal* (termograms) yang dihasilkan dengan melakukan transfer data melalui *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.

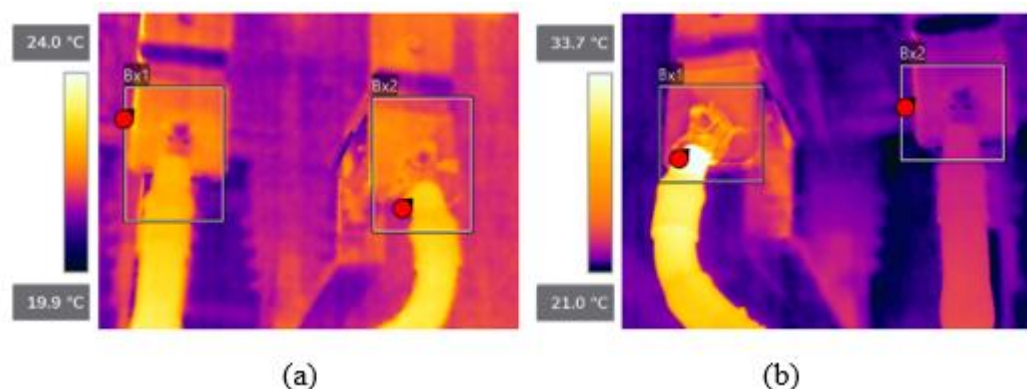
Hasil termograms yang terjadi pada *phase* S-T jika dilihat mengalami kenaikan suhu yang tinggi, hal ini dapat dilihat dari termogram dimana pada *phase* S-T tepatnya pada *box* 1 terlihat warna yang terdapat pada objek benda berwarna oranye menyala yang menandakan suhu yang terjadi pada bagian tersebut 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  $21,7^{\circ}\text{C}$ .

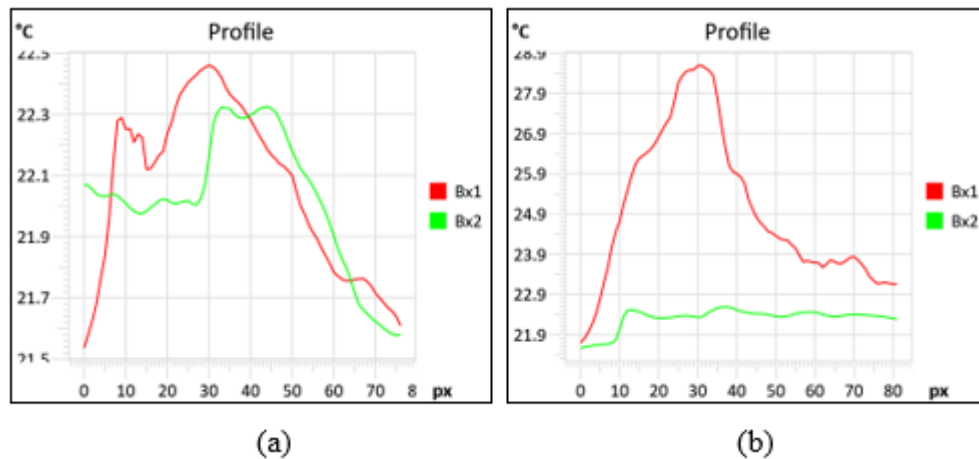
Grafik yang dihasilkan pada *box 1 phase S-T* mengalami *range* suhu tertinggi yaitu lebih dari  $25,9^{\circ}\text{C}$  dan terendah terjadi pada  $21,9^{\circ}\text{C}$ , begitupun sebaliknya pada *box 2 phase S-T* terjadi *range* suhu tertinggi sebesar  $22,9^{\circ}\text{C}$  dan terendah kurang 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.

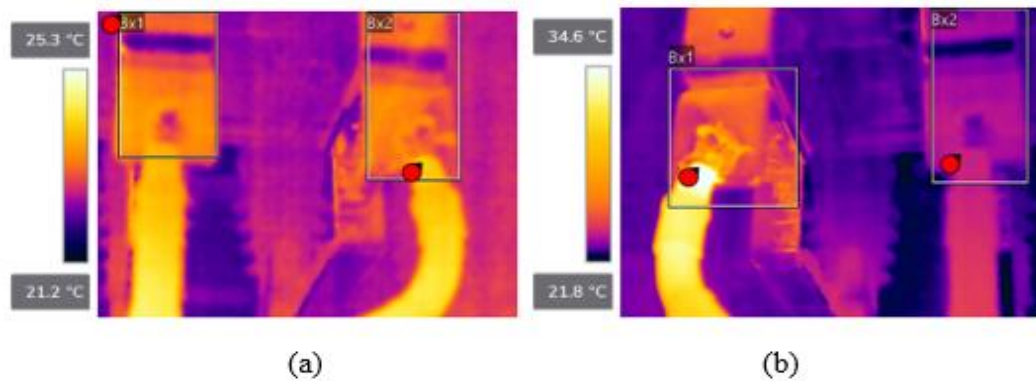


Gambar 4.8 Grafik *Range* Pengukuran Panas Hasil Pengujian *Thermography* UMVB HWP A Minggu ke-2, (a) *Phase R-S*, (b) *Phase S-T*

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.

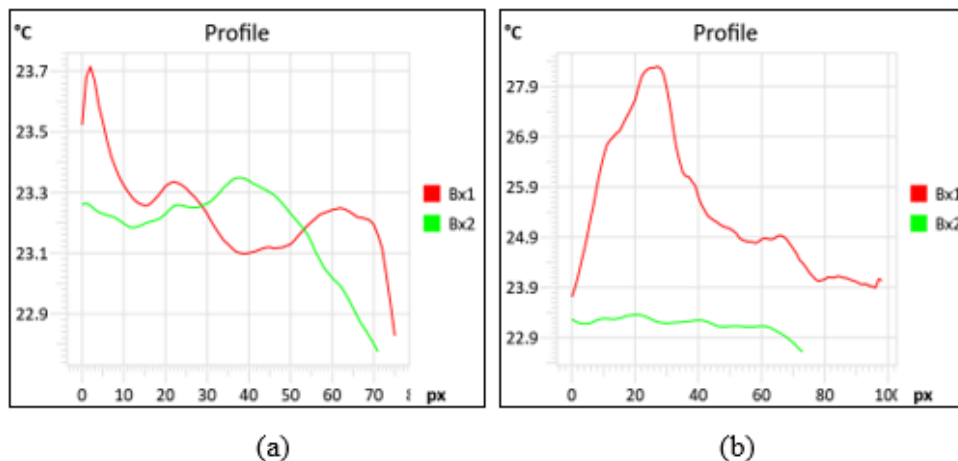




Gambar 4.9 Termograms Pengujian *Thermography* pada Terminasi Kabel Koneksi Panel UMVB HWP A Minggu ke-3, (a) *Phase R-S*, dan (b) *Phase S-T*

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*.

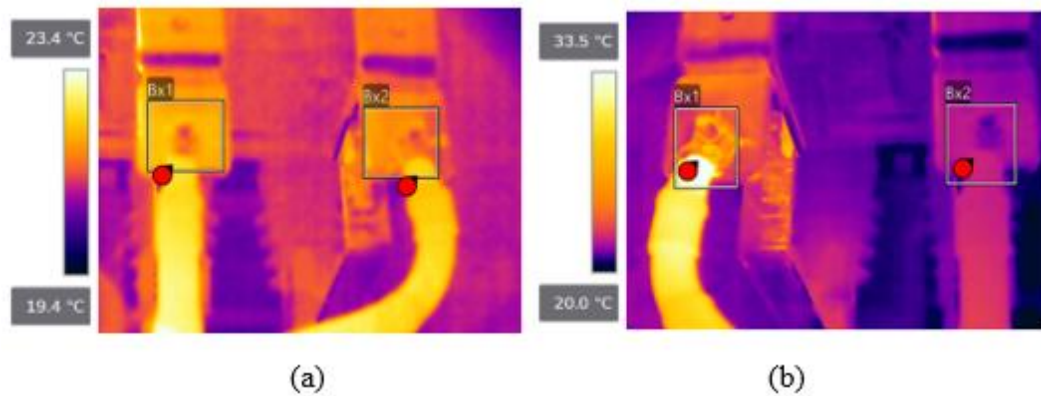
Hasil termogram yang terjadi pada *phase S-T* pengujian minggu ke-3 terlihat bahwa *range* suhu yang terjadi berkisar antara 21,8°C sampai 34,6°C. *Range* suhu yang terjadi antara kedua *phase* berjarak jauh sehingga menyebabkan terjadinya suhu abnormal. Warna pada sekitar objek redup menunjukkan bahwa *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*.

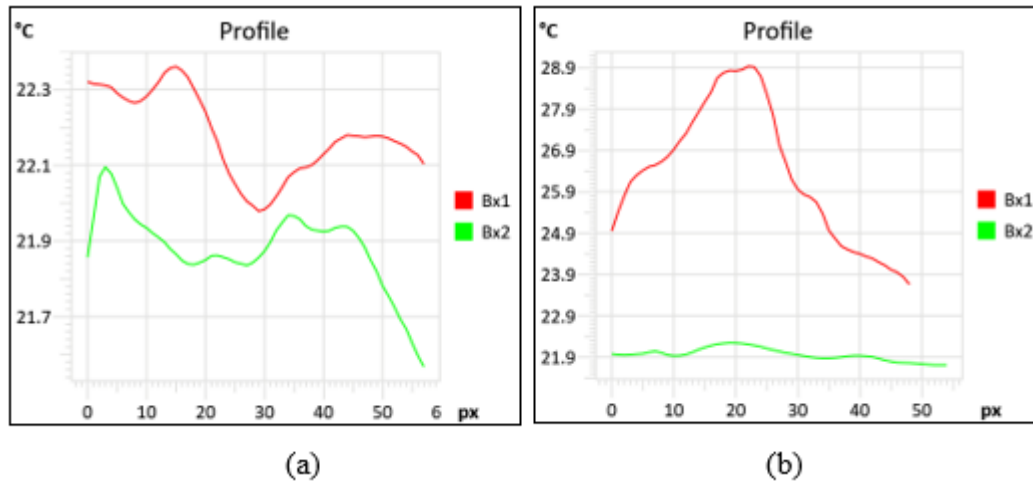
Grafik hasil pengujian *thermography* yang terjadi pada *phase S-T* terlihat bahwa pada *box 1* suhu tertinggi terjadi di atas 27,9°C dan terendah terjadi di bawah 23,9°C, sedangkan yang terjadi pada *box 2* dimana suhu tertinggi terjadi di atas 22,9°C dan suhu terendah terjadi di bawah 22,9°C. Perbedaan 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.