



TUGAS AKHIR - TF 141581

**ANALISIS *THERMAL SIGNATURE* WAJAH
MANUSIA PADA SAAT AKTIFITAS *JOGGING*
DENGAN TEKNIK TERMOGRAFI INFRAMERAH**

PUTRIA WIDYA BUDIARTI
NRP. 2412 100 047

Dosen Pembimbing
Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc.
Ir. Heru Setijono, M.Sc.

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



FINAL PROJECT - TF 141581

THERMAL SIGNATURE ANALYSIS OF HUMAN FACE DURING JOGGING ACTIVITY WITH INFRARED THERMOGRAPHY TECHNIQUE

PUTRIA WIDYA BUDIARTI
NRP. 2412 100 047

Supervisor
Ir. Apriani Kusumawardhani, MSc.
Ir. Heru Setijono, MSc

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2016

**ANALISIS *THERMAL SIGNATURE* WAJAH MANUSIA
PADA SAAT AKTIFITAS *JOGGING* DENGAN
TEKNIK TERMOGRAFI INFRAMERAH**

TUGAS AKHIR

Oleh:

Putria Widya Budiarti
NRP. 2412 100 047

Surabaya, 20 Juli 2016
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I,

Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc.
NIPN. 19530404 197901 2 001

Pembimbing II,

Ir. Heru Setijono, M.Sc
NIPN. 19490120 197612 1 001



**Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS**
Agus Muhammad Hatta, PhD
NIPN. 19780902/200312 1 002

“Halaman ini memang dikosongkan”

**ANALISIS *THERMAL SIGNATURE* WAJAH MANUSIA
PADA SAAT AKTIFITAS *JOGGING* DENGAN
TEKNIK TERMOGRAFI INFRAMERAH**





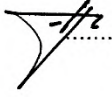
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Fotonika
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

PUTRIA WIDYA BUDIARTI
NRP. 2412 100 047

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc.  (Pembimbing I)
2. Ir. Heru Setijono, M.Sc.  (Pembimbing II)
3. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.  (Penguji I)
4. Dr.rer.nat Ir. Aulia Nasution, M.Sc.  (Penguji II)
5. Ir. Roekmono, M.T.  (Penguji III)

**SURABAYA
JULI
2016**

“Halaman ini memang dikosongkan”

**ANALISIS *THERMAL SIGNATURE* WAJAH
MANUSIA PADA SAAT AKTIFITAS *JOGGING*
DENGAN TEKNIK TERMOGRAFI
INFRAMERAH**

Nama Mahasiswa : Putria Widya Budiarti
NRP : 2412 100 047
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc.
2. Ir. Heru Setijono, M.Sc.

Abstrak

Pemanfaatan thermal imaging sangat pesat untuk berbagai aplikasi. Untuk pengukuran objek diatas suhu mutlak 0 Kelvin dapat menggunakan kamera thermal dengan memanfaatkan radiasi inframerah yang dipancarkan oleh objek. Manusia salah satu objek yang meradiasikan inframerah. Radiasi inframerah oleh tubuh manusia juga berbeda-beda sesuai dengan aktifitas yang sedang dilakukan. Aktifitas fisik seperti jogging adalah aktifitas yang sering dilakukan oleh manusia maka dalam penelitian ini didapatkan bahwa profil *thermal signature* aktifitas *jogging* pada tubuh manusia terutama bagian wajah berbeda-beda berkaitan dengan energi radiasi, temperatur lingkungan dan emisivitas. Berdasarkan distribusi perubahan temperatur, kenaikan tertinggi adalah 53% untuk naracoba A, dan untuk selisih suhu rata-rata kondisi baseline dan setelah aktifitas jogging paling besar mencapai 0,2 °C oleh naracoba E. Untuk trendline aktifitas jogging selama 10 menit juga cenderung meningkat temperaturnya, dengan selisih temperatur maksimum minimum region hidung paling signifikan yaitu 0,9 °C dan dahi yang paling rendah selisihnya adalah dahi 0,3 °C. Validasi pengolahan citra thermal imaging dibandingkan dengan hasil pengukuran thermometer infrared didapatkan

hasil selisih temperatur antar masing-masing region pengukuran didapatkan hasil error yaitu 3,23% error minimal dan 9,09% error maksimalnya. Dan setiap orang memiliki hasil pengukuran yang berbeda karena sifat fisiologis dari manusia itu sendiri, salah satunya adalah regulasi thermal suhu tubuh selama aktifitas fisik.

Kata kunci: thermal imaging, temperatur, aktifitas fisik jogging

THERMAL SIGNATURE ANALYSIS OF HUMAN FACE DURING JOGGING ACTIVITY WITH INFRARED THERMOGRAPHY TECHNIQUE

Name : Putria Widya Budiarti
NRP : 2412 100 047
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : 1. Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc.
2. Ir. Heru Setijono, M.Sc

Abstract

Thermal imaging has been widely used for many applications.. Humans one of the objects that radiate infrared. Infrared radiation by the human body also vary according to the activity. This study found that the thermal profile signature activity of jogging on the human body, especially the face is different with regard to energy radiation, ambient temperature and emissivity. Based on the distribution of temperature changes, the highest increase was 53% for Volunteer A, and for the difference in the average temperature of baseline conditions and after activities of jogging the greatest reach 0,2 °C by Volunteer E. The trend line graphic of jogging for 10 minutes activity also tends to increase the temperature, with a maximum temperature difference of minimum most significant region of the nose and forehead 0,9 °C the least difference is 0,3 °C forehead. Validation of image processing compared with the thermal imaging infrared thermometer measuring the temperature difference between the results obtained each region measurement error showed that minimal error of 3.23% and 9.09% maximum error. And everyone has a different measurement results due to physiological nature of himself, one of which is the thermal regulation of body temperature during physical activity.

Keywords: thermal imaging, temperature, jogging physical activity

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah yang telah diberikan, shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Thermal Signature Wajah Manusia Pada Saat Aktifitas Jogging Dengan Teknik Termografi Inframerah**”. Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Agus Muhammad Hatta, PhD, selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS dan Bapak Ir. Yeri Susation, M.T selaku dosen wali atas segala nasehat dan segala bentuk pembelajaran yang telah diberikan selama ini.
2. Bapak Prof. Ir. Sekartedjo, M.Sc., selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Fotonika, beserta jajaran dosen pengampu bidang minat Rekayasa Fotonika yang lain terimakasih atas segala macam bentuk pembelajaran yang telah diberikan selama ini.
3. Ibu Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc., dan Bapak Heru Setijono, M.Sc., selaku dosen pembimbing yang senantiasa sabar memberikan motivasi, bimbingan, arahan, dan dukungan moral dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat selama kuliah. Serta Karyawan dan seluruh Civitas akademika terimakasih atas segala bentuk bantuan yang diberikan selama ini.
5. Bapak Prof. Sunarno dan Bapak Rony Wijaya, S.T., M.Eng selaku pembimbing selama pengambilan data di Laboratorium Sensor dan Sistem Telekontrol Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika UGM, terimakasih atas waktu yang telah diluangkan pada penulis.

6. Ibu Widaningsih, Bapak Budi Santoso, dan saudara-saudara yang senantiasa mendoakan penulis serta memotivasi selama penelitian ini.
7. Para pejuang Tugas Akhir di bidang minat rekayasa fotonika, menjadi tempat untuk bertukar informasi mengenai Tugas Akhir.
8. Teman-teman asisten Laboratorium Rekayasa Fotonika semuanya yang turut memberikan dukungan dalam pengerjaan Tugas Akhir
9. Angkatan 2012 Jurusan Teknik Fisika sebagai keluarga besar selama masa perkuliahan penulis.
10. Teman-teman asisten Laboratorium Sensor dan Sistem Telekontrol Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika UGM yang menemani dan membimbing dalam proses pengambilan data.
11. Seluruh teman-teman di UGM, UPN, UII Jogjakarta yang bersedia meluangkan waktunya untuk menjadi volunteer objek penelitian.
12. Pihak-pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu dan telah membantu penyelesaian Tugas Akhir ini. Terimakasih.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini belum sempurna. Oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sehingga mencapai sesuatu yang lebih baik lagi secara konten. Penulis juga berharap semoga laporan ini dapat menambah wawasan bagi pembacanya dan dikembangkan untuk penelitian selanjutnya.

Surabaya, 7 Juni 2016

Penulis.

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan.....	iii
Abstrak	vii
Abstract	ix
Kata Pengantar	xi
Daftar Isi	xiii
Daftar Gambar.....	xv
Daftar Tabel.....	xix

Bab I. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Permasalahan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan	3

Bab II. Tinjauan Pustaka

2.1 Inframerah	5
2.2 Radiasi Benda Hitam.....	8
2.3 Termografi Inframerah.....	10
2.4 <i>Thermal Signature</i> dari <i>Human Body Radiation</i>	12
2.5 <i>Thermal Imaging Camera</i>	15
2.6 Aktifitas Fisik Jogging dan Regulasi Termal Tubuh Manusia.....	17

Bab III. Metodologi

3.1 Diagram Alir Penelitian	19
3.2 Simulasi Software	20
3.3 Data Citra Thermal Imaging	20
3.4 <i>Preprocessing</i> Citra.....	23
3.5 Pengolahan Citra <i>Thermal</i>	26
3.6 Pengolahan Citra Hasil Ekstraksi Frame Video	32

Bab IV. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil dan Analisis Thermal Signature Wajah Manusia..	35
4.2 Hasil dan Analisis Distribusi Temperatur Setelah Aktifitas Jogging	37
4.3 Hasil dan Analisis Pengolahan Citra Video	43
4.4 Validasi Data	51
4.5 Pengaruh dari Regulasi Thermal Suhu Tubuh manusia .	53

Bab V. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran.....	56

DAFTAR PUSTAKA	57
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1.	Spektrum Gelombang Elektromagnetik 5
Gambar 2.2.	Spektrum Inframerah 6
Gambar 2.3.	Citra Termografi 7
Gambar 2.4.	Termometer Inframerah 7
Gambar 2.5.	Distribusi Energi Blackbody Radiation 9
Gambar 2.6.	(a) thermal imaging untuk wajah manusia sebelum dan gambar (b) adalah setelah ekspresi terkejut. 13
Gambar 2.7.	Thermal Imaging untuk aktifitas fisik 13
Gambar 2.8	Cara Kerja Kamera Thermal 15
Gambar 2.9.	Elemen Sensor <i>Thermal Imaging</i> format citra 32x32 <i>pixel</i> 16
Gambar 2.10.	(a) <i>Thermal Imaging Modul</i> (b) Hasil citra 16
Gambar 2.11.	Suhu Tubuh Manusia 18
Gambar 3.1.	Skema diagram alir penelitian Tugas Akhir 19
Gambar 3.2.	Distribusi Intensitas dari Blackbody Radiation Hukum Planck 20
Gambar 3.3.	Skema Pengambilan Data 22
Gambar 3.4.	Dokumentasi <i>Set up</i> Data 22
Gambar 3.5.	Dokumentasi Pengambilan Data 23
Gambar 3.6.	Data Thermal Imaging 23
Gambar 3.7.	Diagram Alir Preprocessing Citra 24
Gambar 3.8.	<i>False Color Map</i> 24
Gambar 3.9.	Cetakan ROI dan citra thermal 26
Gambar 3.10.	<i>Region Of Interest</i> dari bagian muka 26
Gambar 3.11.	Diagram Alir Pengolahan Citra Foto 27
Gambar 3.12.	Visualisasi False Color untuk fungsi temperatur 28

Gambar 3.13.	Histogram Baseline	28
Gambar 3.14.	Histogram After	29
Gambar 3.15.	ROI Pipi	29
Gambar 3.16.	Histogram ROI Pipi	30
Gambar 3.17.	ROI Daggu dan Histogram	30
Gambar 3.18.	ROI Hidung	30
Gambar 3.19.	Histogram ROI Hidung	31
Gambar 3.20.	ROI dan Histogram Daerah Mata	31
Gambar 3.21.	Diagram Alir Pengolahan Citra Video	33
Gambar 3.22.	10 frame video yang mewakili frame per menit	34
Gambar 3.23.	Titik Koordinat pada masing-masing region	34
Gambar 4.1.	<i>Thermal signature</i> Wajah Manusia	36
Gambar 4.2.	Naracoba A sebelum aktifitas <i>Jogging</i>	38
Gambar 4.3.	Naracoba A setelah aktifitas <i>Jogging</i>	38
Gambar 4.4.	Naracoba B sebelum aktifitas <i>Jogging</i>	39
Gambar 4.5.	Naracoba B setelah aktifitas <i>Jogging</i>	39
Gambar 4.6.	Naracoba C sebelum aktifitas <i>Jogging</i>	40
Gambar 4.7.	Naracoba C setelah aktifitas <i>Jogging</i>	40
Gambar 4.8.	Naracoba D sebelum aktifitas <i>Jogging</i>	41
Gambar 4.9.	Naracoba D setelah aktifitas <i>Jogging</i>	41
Gambar 4.10.	Naracoba E sebelum aktifitas <i>Jogging</i>	42
Gambar 4.11.	Naracoba E setelah aktifitas <i>Jogging</i>	42
Gambar 4.12.	Naracoba F sebelum aktifitas <i>Jogging</i>	43
Gambar 4.13.	Naracoba F setelah aktifitas <i>Jogging</i>	43
Gambar 4.14.	Koordinat Untuk Region Mata Kanan	44
Gambar 4.15.	Grafik Perubahan Temperatur Terhadap Fungsi Waktu Region Mata Kanan	44
Gambar 4.16.	Koordinat Untuk Region Mata Kiri	45
Gambar 4.17.	Grafik Perubahan Temperatur Terhadap Fungsi Waktu Region Mata Kiri	45

Gambar 4.18.	Koordinat Untuk Region Hidung	46
Gambar 4.19.	Grafik Perubahan Temperatur Terhadap Fungsi Waktu Region Hidung	46
Gambar 4.20.	Koordinat Untuk Region Pipi Kanan	47
Gambar 4.21.	Grafik Perubahan Temperatur Terhadap Fungsi Waktu Region Pipi Kanan	47
Gambar 4.22.	Koordinat Untuk Region Pipi Kiri	48
Gambar 4.23.	Grafik Perubahan Temperatur Terhadap Fungsi Waktu Region Pipi Kiri	48
Gambar 4.24.	Koordinat Untuk Region Dahi	49
Gambar 4.25.	Grafik Perubahan Temperatur Terhadap Fungsi Waktu Region Dahi	49
Gambar 4.26.	Koordinat Untuk Region Daggu	50
Gambar 4.27.	Grafik Perubahan Temperatur Terhadap Fungsi Waktu Region Daggu	50
Gambar 4.28.	Perubahan temperatur (a) <i>baseline</i> (b) <i>after</i>	53

“Halaman ini memang dikosongkan”

DAFTAR TABEL

		Hal
Tabel 2.1.	Nilai Emisivitas Benda standar TI814	11
Tabel 3.1.	Spesifikasi Kamera Thermal	21
Tabel 3.2.	Tabel Hubungan Color Map dan Temperatur	25
Tabel 4.1	Validasi data	52

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi pencitraan digital saat ini sangat berkembang pesat. Salah satu teknologi yang digunakan adalah *thermal imaging*. *Thermal imaging* adalah pencitraan yang memanfaatkan radiasi inframerah. Dimana hampir semua benda meradiasikan inframerah (Wolff, 2003). Inframerah adalah gelombang elektromagnetik yang memiliki rentang panjang gelombang 0.7-1 milimeter (Bhowmik, 2011). Untuk *thermal imaging* sendiri memanfaatkan radiasi inframerah pada panjang gelombang diatas 3 mikrometer (Bhowmik, 2011). Pemanfaatan *thermal imaging* juga sangat banyak, antara lain dalam bidang industri untuk deteksi peralatan mekanik dan elektrik dalam *troubleshooting* adanya kerusakan, dalam bidang medis untuk mendeteksi adanya sel kanker atau tumor pada payudara (Nurhayati, 2010), dalam bidang penginderaan jauh untuk mendeteksi potensi sumber daya energi terbarukan seperti *geothermal*. Pemanfaatan menggunakan *thermal imaging* sangat banyak karena tidak dipungkiri sebagian inframerah diradiasikan oleh hampir semua objek (Wolff, 2003). Untuk pengolahan citra didapatkan dari nilai emisivitas setiap objek yang di visualisasikan dalam temperatur yang berbeda-beda berdasarkan energi yang diradiasikan. Untuk bisa meradiasikan energi semua objek harus memiliki suhu mutlak diatas 0 Kelvin. Karena suhu mutlak paling rendah yang ada di alam semesta ini adalah 0 Kelvin atau -273.15° Celcius (Daniels, 2006).

Pada penelitian ini dilatar belakangnya oleh penelitian sebelumnya yaitu aplikasi *thermal imaging* untuk keperluan diagnosis dan deteksi dengan cara *non-invasive* atau *screening* dimana digunakan untuk keperluan analisis medis (Sumriddetchkajorn, 2008). Kemudian latar belakang lain adalah, manusia merupakan salah satu objek yang bisa meradiasikan inframerah. Radiasi inframerah oleh manusia juga berbeda-beda tergantung aktifitas dan kondisi psikologis yang dilakukan. Seperti apabila manusia dalam kondisi psikologis marah, sedih,

kecewa, bahagia, terkejut, takut, kemudian faktor lain seperti karakter tiap individu yang berbeda-beda akan menghasilkan radiasi inframerah yang berbeda-beda. Kemudian aktifitas fisik yang dilakukan tiap individu, seperti berlari, jalan, duduk santai, berfikir, juga akan menghasilkan radiasi inframerah yang berbeda pula (Chiarugi, 2014). Kecenderungan karakteristik yang berbeda itu lah yang dinamakan *thermal signature*. Bagian wajah manusia adalah salah satu bagian yang paling signifikan dalam perubahan temperatur untuk parameter *thermal imaging*. Terutama di bagian otot muka daerah mata, pipi, dagu, hidung (Hong 2009).

Aktifitas manusia dalam sehari-hari sangat beragam, salah satunya adalah aktifitas *jogging*. Pada saat manusia melakukan aktifitas *jogging*, tubuh akan mengalami perubahan temperatur yang signifikan dibandingkan dengan aktifitas yang lain. Dan terutama bagian wajah manusia adalah salah satu bagian yang terlihat untuk perubahannya, ditandai oleh hasil fisis yang terlihat seperti berkeringat dan muka memerah. Dalam penelitian (Tanda, 2015) *thermal imaging* digunakan untuk meninjau perfomansi atlet pada saat aktifitas lari. Pada saat beraktifitas tubuh akan mengalami perubahan temperatur, perubahan yang terlalu signifikan mengindikasikan bahwa ada kelainan regulasi tubuh (Nalin, 2005).

Maka dari itu dalam penelitian ini akan dilakukan analisis *thermal signature* dari wajah manusia apabila melakukan aktifitas *jogging* seperti distribusi temperaturnya dan perubahan temperatur terhadap waktu. Dari perubahan temperatur dari manusia tersebut akan diketahui bahwa ada regulasi tubuh masih dikatakan normal atau terindikasi adanya kelainan.

1.2 Rumusan Permasalahan

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini bagaimana menganalisis *thermal signature* wajah manusia pada saat aktifitas *jogging* dengan teknik termografi inframerah dan faktor apa yang mempengaruhi perubahan temperatur.

1.3 Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini, terdapat beberapa batasan yang digunakan sebagai berikut:

- *Thermal signature* yang di analisis adalah distribusi temperatur pada setiap region di wajah manusia, seperti daerah mata, pipi, dagu, hidung. *Thermal signature* dari perubahan temperatur terhadap waktu.
- Pengambilan data citra menggunakan *thermal imager* dengan *range* panjang gelombang inframerah pada range Far Infrared yaitu 8 – 14 μm .
- Objek manusia adalah 9 laki-laki dan 9 perempuan dengan usia 20-24 tahun dengan asumsi pengaruh aktifitas lain sebelum melakukan pengujian *jogging* diabaikan.
- Aktifitas *jogging* yang dilakukan selama 10 menit di sebuah ruangan dengan pengondisian yang sama.
- Pengolahan citra dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB R2009a dengan olahan citra *grayscale* dari wajah bagian daerah dekat mata, hidung, dagu, dan pipi.

1.4 Tujuan

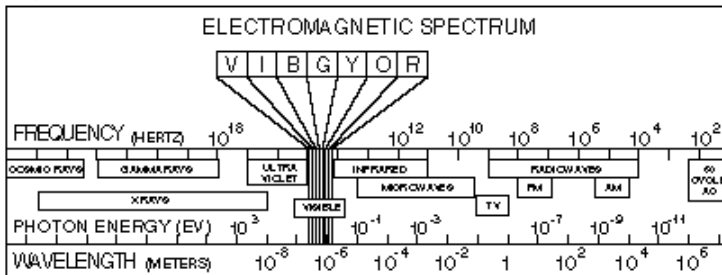
Tujuan utama yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah untuk menganalisis *thermal signature* wajah manusia pada saat aktifitas *jogging* dengan termografi inframerah dan menganalisis faktor yang mempengaruhi perubahan temperatur.

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Inframerah

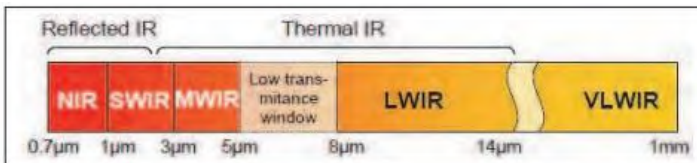
Inframerah adalah spektrum gelombang elektromagnetik pada panjang gelombang antara 700 nm sampai 1 mm. Dengan frekuensi yaitu 430 THz sampai dengan 300 GHz dan energi foton sebesar 1,24 meV sampai dengan 1,7 eV. Adapun panjang gelombang dengan frekuensi disini semakin berbanding terbalik. Frekuensi semakin rendah nilainya pada range panjang gelombang yang lebih panjang. Infrared dari bahasa latin “infra” artinya dibawah dan red “merah” maka infrared berada dibawah range spektrum cahaya tampak warna merah dimana memiliki panjang gelombang lebih panjang dibanding spektrum cahaya tampak, namun memiliki frekuensi lebih rendah (Bhowmik, 2011).



Gambar 2.1 Spektrum Gelombang Elektromagnetik
(Sumber: Daniel, 1996)

Inframerah alami dari cahaya matahari dengan suhu 5780 Kelvin meradiasikan 1 kW/m^2 dengan sebagian besar meradiasikan inframerah, 32 watt dari UV, 445 watt radiasi dari cahaya tampak, dan 527 watt dari radiasi inframerah (Emery, 2009). Berdasarkan *International Commission Illumination (CIE)*, Inframerah terbagi menjadi IR-A memiliki range panjang gelombang 700 nm – 1400 nm ($0.7 \mu\text{m}$ – $1.4 \mu\text{m}$, 215 THz – 430 THz), IR-B dengan range panjang gelombang 1400 nm –

3000 nm ($1.4 \mu\text{m} - 3 \mu\text{m}$, 100 THz – 215 THz), dan IR-C dengan *range* panjang gelombang 3000 nm – 1 mm ($3 \mu\text{m} - 1000 \mu\text{m}$, 300 GHz – 100 THz). Kemudian dibagi lagi menjadi *Near Infrared* (NIR) dengan *range* panjang gelombang 0.7 – 1 μm , *Short Wavelength Infrared*(SWIR) dengan *range* 1-3 μm . *Middle Wavelength Infrared*, 3-5 μm . *Long Wavelength Infrared*(LWIR) dengan *range* 8-14 μm . Dan *Very Long Wavelength Infrared* (VLWIR) dengan *range* 14 μm -1mm.

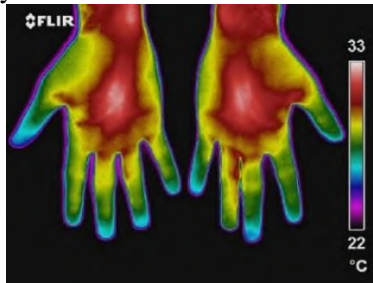


Gambar 2.2 Spektrum Inframerah
(Sumber: Bhonwmik, 2003)

Selain standar CIE, ISO 20473-2007 juga menetapkan standar *range* panjang gelombang inframerah antara lain, NIR(*Near Infrared*) berada pada *range* 0.78 – 3 μm . Kemudian MIR(*Middle Infrared*) pada *range* 3 – 50 μm . Dan FIR(*Far Infrared*) pada *range* 50-1000 μm . Masing-masing *range* bisa digunakan untuk beberapa aplikasi yang berbeda, namun memiliki syarat dan ketentuan yang sama, yaitu harus memiliki suhu mutlak diatas 0 Kelvin atau $-273,15^{\circ}$ Celcius dimana bersifat self radiation atau thermal infrared seperti SWIR, MWIR, LWIR, dan *reflected radiation* atau *reflected infrared* seperti NIR (Daniels, 2006).

Adapun beberapa aplikasi yang memanfaatkan spektrum inframerah sebagai sumbernya, *infrared imaging* yaitu memanfaatkan sumber radiasi inframerah dalam pencitraan atau dalam teknik fotografinya. Dimana dengan memanfaatkan inframerah akan lebih mendapatkan banyak informasi yang tidak bisa didapat apabila hanya menggunakan fotografi spektrum *visible light*. Contoh dari pemanfaatan *infrared imaging* antara lain, termografi, *Night Vision*, *Hyperspectral Imaging*, dan lain

sebagainya. Untuk termografi atau *thermal imaging* biasanya memanfaatkan *Far Infrared* atau *Long Wavelength Infrared* sebagai sumbernya.



Gambar 2.3 Citra Termografi

(Sumber: <http://lumpsbreast.com> “Citra Termografi”)

Kemudian aplikasi selanjutnya adalah untuk telekomunikasi. Dalam telekomunikasi, dimana saat ini semakin berkembang komunikasi yang menggunakan fiber optik dengan memanfaatkan laser sebagai sumber cahayanya, dan laser yang digunakan adalah laser inframerah. Biasanya menggunakan sumber pada *range near infrared* sampai dengan 1600 nm.

Kemudian inframerah bisa digunakan untuk pengukuran yaitu untuk alat ukur suhu atau termometer inframerah, dengan memanfaatkan radiasi inframerah dari suatu objek kemudian radiasi inframerah yang berupa energi atau daya dilakukan perhitungan sehingga didapatkan informasi berupa temperatur.



Gambar 2.4 Termometer Inframerah

(Sumber: <http://mc-tester.com>)

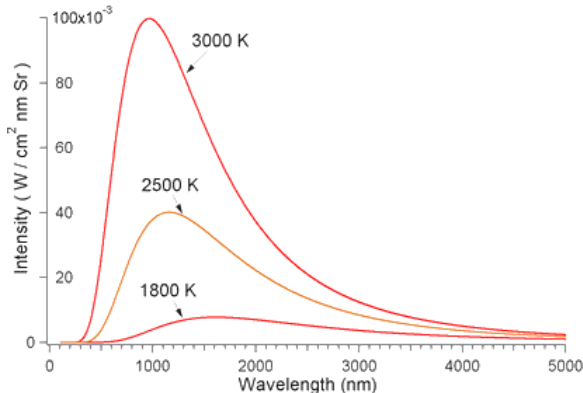
Kemudian aplikasi lain terkait dengan inframerah adalah untuk spektroskopi yaitu menentukan karakteristik suatu material berdasarkan interaksinya apabila dikenai suatu sumber, dalam hal ini sumber nya berupa inframerah. Bagaimana suatu objek mentransmisikan, merefleksikan, atau mengabsorbsikan sumber yang di terima. Kemudian inframerah juga bisa digunakan dalam bidang meteorologi dan klimatologi. Dengan menggunakan satelit penginderaan jauh dengan memanfaatkan pantulan dari objek yang ada di bumi, kemudian ditangkap oleh sensor dari satelit untuk kemudian dianalisa berdasarkan hasil citra, kemudian didapatkan hasil berupa perkiraan cuaca, prediksi bencana alam, dan lain sebagainya.

2.2 Radiasi Benda Hitam

Radiasi benda hitam adalah radiasi gelombang elektromagnetik, yang dipancarkan oleh objek benda hitam atau objek yang opak dan tidak reflektif. Meskipun namanya benda hitam, dia tidaklah harus benar-benar hitam karena dia juga memancarkan energi. Jumlah dan jenis radiasi elektromagnetik yang dipancarkannya bergantung pada suhu benda hitam tersebut. Benda hitam dengan suhu di bawah sekitar 700 Kelvin hampir semua energinya dipancarkan dalam bentuk gelombang inframerah, sangat sedikit dalam panjang gelombang tampak. Semakin tinggi temperatur, semakin banyak energi yang dipancarkan dalam panjang gelombang tampak dimulai dari merah, jingga, kuning dan putih. Istilah "benda hitam" pertama kali diperkenalkan oleh Gustav Robert Kirchhoff pada tahun 1862. Cahaya yang dipancarkan oleh benda hitam disebut radiasi benda hitam (Loudon, 2000).

Radiasi setiap objek berbeda-beda bergantung dari temperatur dari objek. Dan ketika temperatur berkurang, puncak dari kurva radiasi benda hitam bergerak ke intensitas yang lebih rendah dan puncak intensitas bergeser ke panjang gelombang yang lebih panjang begitu juga sebaliknya, semakin tinggi temperatur semakin tinggi pula intensitasnya dan puncak intensitas bergeser ke panjang gelombang yang lebih panjang.

Grafik radiasi benda hitam ini dibandingkan dengan model klasik dari Rayleigh dan Jeans.



Gambar 2.5 Distribusi Energi Blackbody Radiation

(Sumber: <https://www.miniphysics.com/uy1-planck-radiation-law-and-wien.html>)

Radiasi benda hitam sangat berkaitan dengan tiga hukum fisika dari Planck, Wien, dan Stefan-Boltzman. Dalam ilmu fisika thermal, Hukum Planck menelaskan tentang emisi benda hitam dalam fungsi panjang gelombang monokromatik yang berkaitan dengan temperatur (Planck, 1914). Fungsi dari Hukum Planck adalah sebagai berikut:

$$M_{\lambda}^{\circ} = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot c_0^2 \cdot \lambda^{-5}}{n^2 \cdot \exp\left(\frac{h \cdot c}{K_B \cdot \lambda \cdot T}\right) - 1} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan M_{λ}° adalah energi per satuan waktu atau daya yang diradiasikan per satuan luas dari permukaan objek dalam satuan steradian per satuan frekuensi dari temperatur benda hitam dalam T, atau sering disebut spectral radiance. c adalah kecepatan

cahaya, dengan $c = \frac{c_0}{n}$ untuk n atau indeks bias udara, $n=1$, $c_0=2.997 \cdot 10^8$ m/s. h adalah konstanta Planck, $h=6.6262 \times 10^{-34}$ J.s. K adalah konstantan Boltzman, dengan $K = \frac{R}{N_a} = 1.38 \cdot 10^{-23}$ dimana R adalah konstanta gas dan N_a adalah bilangan Avogadro. T adalah temperatur dari radiasi benda hitam dalam Kelvin. Dan λ adalah panjang gelombang radiasi.

Nilai dari panjang gelombang dilihat dari emisi maksimum adalah dari Hukum Wien yaitu:

$$\lambda_{max} \times T = b \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana $b = 2898 \mu\text{ m K}$.

Hukum Wien menjelaskan tentang bagaimana spektrum radiasi benda hitam dalam temperatur berkaita dengan spektrum dalam temperatur lain. Intensitas spektral dapat digambarkan dalam fungsi panjang gelombang atau frekuensi (Planck, 1914).

Hukum Stefan-Boltzman juga menyatakan sebagai daya per satuan luas yang diemisikan oleh permukaan objek secara langsung dalam temperatur absolut.

$$j^* = \sigma T^4 \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana, j^* adalah total daya yang diradiasikan per satuan luas, T adalah temperatur absolut, dan $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ adalah konstanta Stefan-Boltzmann (Planck, 1914).

2.3 Termografi Inframerah

Termografi inframerah adalah pencitraan yang memanfaatkan radiasi termal sebagai sumbernya. Sama halnya dengan fotografi yang mana fotografi memanfaatkan *visible light* sebagai sumbernya. Radiasi termal adalah radiasi inframerah pada *range* inframerah *Long Wave Infrared*. Dalam termografi, citra yang dihasilkan berupa distribusi temperatur dari total energi

yang dihasilkan. Selain energi, emisivitas setiap benda juga berpengaruh terhadap nilai temperatur yang dihasilkan (Bhowmik, 2011). Emisivitas adalah kemampuan suatu objek untuk mengemisikan radiasi termal. Masing-masing benda mempunyai nilai emisivitas yang berbeda-beda, sesuai dengan karakteristik masing-masing benda. Emisivitas material berdasarkan teori adalah 0 yaitu tidak mengemisikan sama sekali dan 1 yang seluruhnya mengemisikan radiasi. Sebagai contoh, material yang paling rendah nilai emisivitasnya adalah perak yaitu 0.02 dan material yang paling tinggi emisivitasnya adalah aspal 0.98. *Blackbody radiation* memiliki emisivitas 1, namun sejauh ini belum ada material yang memiliki nilai emisivitas 1. Dalam studi kasus pengukuran temperatur suatu objek, diperlukan nilai emisivitas atau estimasinya. Maka pada setiap alat ukur memiliki standar emisivitasnya sendiri. Persamaan emisivitas adalah berikut ini:

$$\text{Emissivity} = \frac{\text{Radiation emitted by an object at temperature } T}{\text{Radiation emitted by a Black Body at temperature } T} \dots\dots\dots(2.5)$$

Emisivitas didapatkan dari perbandingan energi radiasi suatu objek dalam temperatur tertentu dan energi radiasi benda hitam dalam temperatur tertentu. Kemudian akan didapat koefisien emisivitas. Dan berikut adalah contoh nilai emisivitas sesuai standar TI814 (Bhowmik, 2011).

Tabel 2.1 Nilai Emisivitas Benda standar TI814

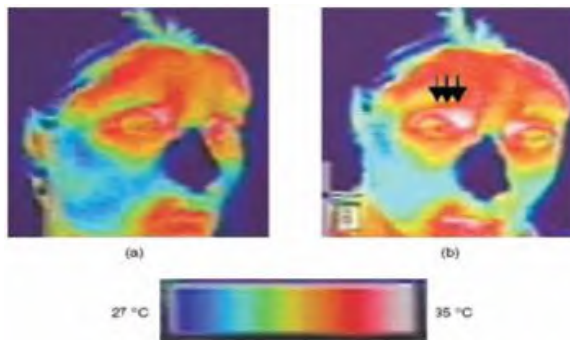
Material	Emissivity
Steel polished	0.18
Steel oxidised	0.85
Brass polished	0.10
Brass oxidised	0.61
Aluminium polished	0.05
Aluminium oxidised	0.30
Cement and Concrete	0.90
Asphalt	0.90
Red Brick	0.93
Graphite	0.85
Cloth	0.85

Termografi, ada dua jenis berdasarkan kemampuan sensor, yaitu pasif termografi dan aktif termografi. Aktif termografi tentunya sesuai namanya, membutuhkan *illuminator* atau sumber yang dapat meradiasikan energinya kemudian radiasi energi tersebut diterima oleh sensor kamera aktif termografi. Hal ini memungkinkan energi radiasi yang diterima terlalu kecil, sehingga tidak bisa optimal untuk mendapatkan informasi citra pada kamera. Biasanya night vision camera adalah contoh aktif termografi. Sedangkan pasif termografi tentunya tidak membutuhkan sumber energi radiasi, karena sensor kamera mampu optimal menerima energi radiasi langsung dari objek, biasanya contoh untuk pasif termografi adalah kamera thermal dengan *Focal Plane Array Sensor* mampu mendeteksi radiasi *range* panjang gelombang SWIR maupun LWIR (Hong, 2009).

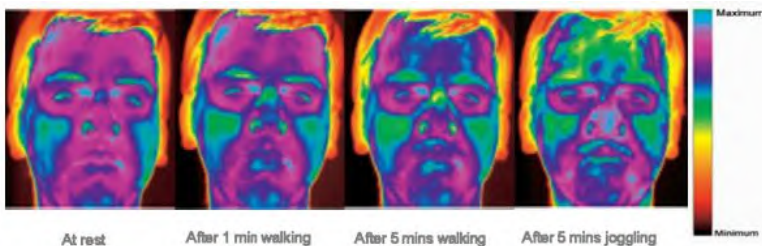
2.4 Thermal signature dari Human Body Radiation

Setiap objek yang memiliki temperatur diatas temperatur absolut diatas 0 Kelvin akan meradiasikan energi yang dinamakan radiasi benda hitam tidak terkecuali manusia. Manusia dan makhluk hidup lain memiliki temperatur diatas 0 Kelvin maka radiasi benda hitam yang dihasilkan manusia dan makhluk hidup yang lain bisa didapatkan. *Thermal signature* atau karakteristik dari radiasi setiap manusia berbeda-beda sesuai dengan aktifitas fisik dan kondisi yang sedang dialami oleh manusia tersebut (Hong, 2009). Dalam tubuh manusia pun masing-masing anggota

badan meradiasikan energi berbeda-beda sesuai dengan temperatur. Wajah adalah salah satu anggota badan yang perubahan temperatur signifikan terlihat sesuai dengan aktifitas yang sedang dilakukan. Dari aktifitas fisik, seperti manusia setelah berlarian, berolahraga, berfikir, tidur, bersantai, dan lain sebagainya, dan juga aktifitas psikologis lain seperti marah, sedih, takut, khawatir, senang, dan lain sebagainya, masing-masing manusia memiliki *thermal signature* yang berbeda dalam segala aktifitas dan kondisi yang dilakukan.



Gambar 2.6 (a) *thermal imaging* untuk wajah manusia sebelum dan gambar (b) adalah setelah ekspresi terkejut (Sumber: Hong, 2009)



Gambar 2.7 *Thermal imaging* untuk aktifitas fisik (Sumber: Hong, 2009)

Pada gambar diatas terlihat bahwa *thermal signature* atau karakteristik wajah manusia saat melakukan perbedaan aktifitas dan kondisi akan berbeda. Untuk gambar atas adalah dimana seseorang kondisi awal kemudian terkejut, pada otot sekitar mata mengalami kenaikan temperatur diakibatkan oleh perasaan terkejut, hal ini menerangkan bahwa efek psikologis juga mempengaruhi perubahan temperatur. Kemudian untuk gambar yang dibawah adalah perbedaan temperatur yang terjadi semakin meningkat seiring dengan semakin keras aktifitas fisik yang dilakukan oleh manusia.

Human body radiation atau radiasi dari tubuh manusia sama seperti objek atau benda lain juga bisa meradiasikan inframerah. Total daya yang diradiasikan adalah selisih antara yang diemisikan dan yang diabsorbsikan. Berikut ini persamaannya:

$$P_{net} = P_{emit} - P_{absorb} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dari penerapan Hukum Stefan-Boltzman, maka daya yang diradiasikan oleh tubuh manusia dapat di turunkan seperti berikut:

$$P_{net} = A\sigma\varepsilon (T^4 - T_0^4) \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana A adalah luas permukaan dari objek, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ adalah konstanta Stefan–Boltzmann, dan ε adalah emisivitas dari permukaan tubuh manusia.

Jika total luas permukaan rata-rata dari manusia dewasa adalah 2 m^2 , dan emissivitas dari kulit manusia dan pakaian yang dikenakan hampir sama, seperti emissivitas permukaan nonmetal. Suhu tubuh manusia kurang lebih 33° C , tapi pakaian mengurangi suhu tubuh menjadi 28° C ketika suhu lingkungan 20° C , maka daya rata-rata dari radiasi tubuh manusia adalah

$$P_{net} = 100 \text{ W} \dots\dots\dots(2.8)$$

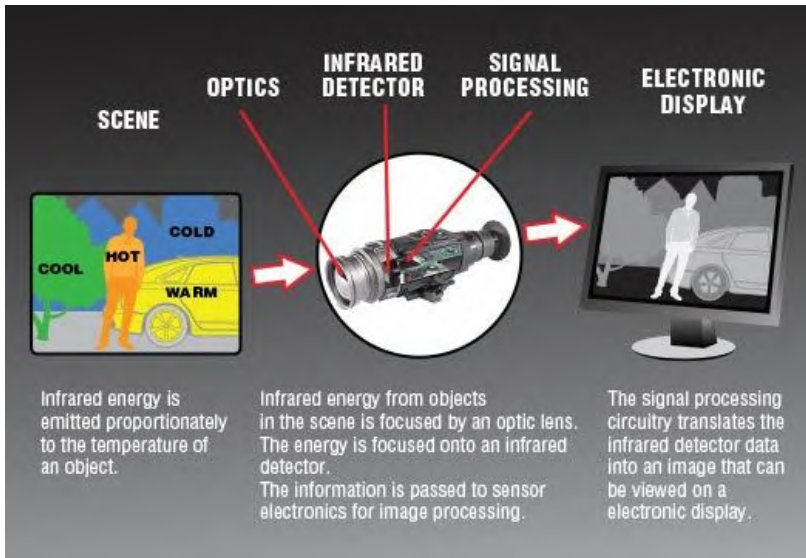
Dan dari aplikasi dari Hukum Wien, maka panjang gelombang maksimum dari radiasi tubuh manusia optimal adalah pada panjang gelombang 9500 nm, dari suhu rata-rata manusia yakni 305 Kelvin, maka dari itu *thermal imaging devices* atau panjang gelombang yang paling sensitif untuk termografi adalah 7-14 micrometer.

$$\lambda_{\text{peak}} = \frac{2.898 \times 10^{-3} \text{ K} \cdot \text{m}}{305 \text{ K}} = 9.50 \mu\text{m}. \dots\dots\dots(2.9)$$

2.5 Thermal imaging Camera

Dalam pencitraan thermal pastinya dibutuhkan suatu divais atau instrumen yang digunakan. Karena ini adalah imaging atau berkaitan dengan citra, pasti dibutuhkan divais optik berupa kamera. Kamera sangat beragam sesuai dengan kegunaan dan kebutuhan akan fitur yang ditawarkan. Kamera fotografi pada umumnya menggunakan seperti yang orang kebanyakan tahu adalah kamera yang memanfaatkan range panjang gelombang *visible* sebagai sumbernya.

Inframerah pertama kali ditemukan pada tahun 1800 oleh Sir William Herschel dalam bentuk radiasi dibawah cahaya merah (Langley, 1880). Pengembangan teknologi inframerah ini dikala itu digunakan untuk perang dunia I yaitu untuk digunakan termometer, detektor termokopel, bolometer, dan *thermopile*. Salah satu bolometer yang ditemukan ditahun 1878 oleh Langley memiliki kemampuan untuk mendeteksi radiasi dari sapi dari jarak 400 meter dan sensitif terhadap perbedaan temperatur hingga ratusan derajat celcius (Langley, 1880). Setelah itu perkembangan detektor inframerah semakin banyak berkembang.

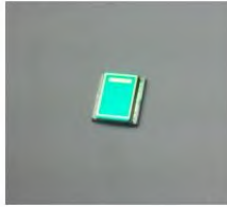


Gambar 2.8 Cara Kerja Kamera Thermal

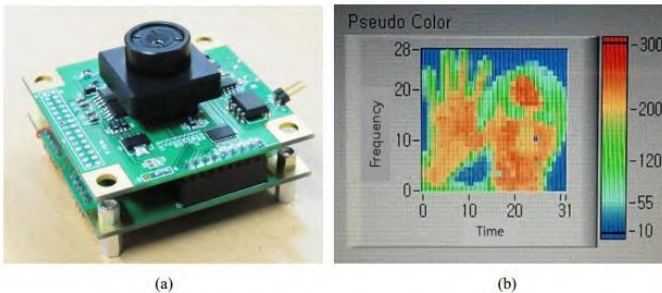
Sumber: <https://www.atncorp.com>

Untuk cara kerja kamera thermal adalah objek yang meradiasikan energi inframerah berupa paket-paket energi foton kemudian difokuskan oleh lensa optik kamera dan diterima oleh sensor kamera kemudian diubah menjadi energi listrik dan melalui pemrosesan sinyal digital, hasil ditampilkan dalam bentuk citra thermal.

Jenis-jenis tipe kamera thermal ada dua jenis, yaitu *uncooled thermal camera* dan *cooled thermal camera*. Keduanya sama-sama bekerja pada *range Long Wave Infrared*, namun berbeda fungsi, *uncooled camera* bekerja pada untuk temperatur lingkungan dan *cooled camera* bekerja pada temperatur antara range 60 Kelvin sampai 100 Kelvin. Detektor atau *sensing element* yang digunakan adalah bahan-bahan semikonduktor yang melalui proses *vacum packaging*. *Element sensing* yang digunakan merupakan array sensor yang disusun dan dirangkai sesuai kebutuhan kualitas citra yang dihasilkan.



Gambar 2.9 Elemen Sensor *Thermal imaging* format citra 32×32 pixel
(Sumber: Han, 2013)



Gambar 2.10 (a) *Thermal imaging Modul* (b) Hasil citra
(Sumber: Han, 2013)

Pada gambar pertama yaitu gambar diatas adalah *Sensing Element* yang digunakan untuk rangkaian *array sensor* untuk *thermal imaging*, dengan format citra yang dihasilkan adalah 32×32 pixel. Pembuatan sensor dilakukan dengan teknologi *microbolometer* melalui tahapan *wafer-level vacuum packaged*. Dan gambar yang dibawah adalah modul *thermal imaging* kamera dan menghasilkan kualitas citra 32×32 pixel seperti gambar disampingnya. Pixel yang dimaksudkan disini adalah kemampuan sensor untuk membedakan warna berdasarkan energi foton dari radiasi inframerah objek. Pixel menyatakan resolusi suatu citra. Dengan perangkat lunak, modul yang menghasilkan melalui proses pengolahan citra menjadi citra *pseudocolor* menginterpretasikan temperatur yang didapat dari radiasi objek tubuh manusia tersebut (Han, 2013).

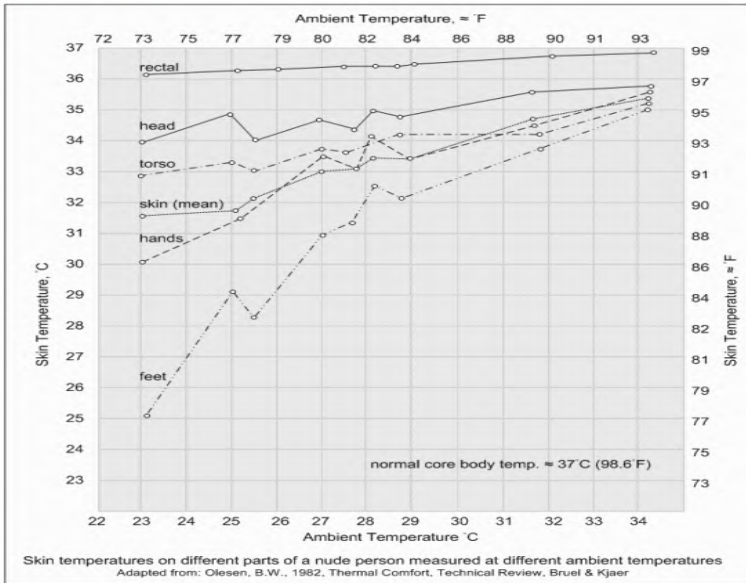
2.6 Aktifitas Fisik *Jogging* dan *Thermoregulation* Tubuh Manusia

Pada saat aktifitas fisik, otot tubuh akan terus bergerak. Menyebabkan kulit akan mengeluarkan banyak keringat dan suhu tubuh akan terasa panas. Untuk mengatur suhu tubuh agar tetap stabil, tubuh akan mengaturnya lewat proses pernapasan dan berkeringat. Tubuh pada saat beraktifitas, cenderung memerlukan energi. Energi dihasilkan dari proses pembakaran oksigen, makanan dan ATP. Aktifitas fisik ini menyebabkan aliran darah mengalir ke permukaan tubuh dimana otot-otot bergerak (Romanovsky, 2007). Selain itu tubuh yang terus memproduksi energi, akan menghasilkan panas yang menyebabkan suhu tubuh juga meningkat. Untuk menjaga suhu tubuh tetap stabil, *hypothalamus* atau bagian yang ada di otak memproduksi hormon untuk menurunkan suhu tubuh lewat pernapasan dan keringat (Cyr, 2004). Maka dari itu dalam beraktifitas seringkali, napas terengah-engah dan terjadi dengan frekuensi lebih sering dan cepat, serta kulit-kulit mengeluarkan keringat. Untuk proses berkeringat sendiri, cairan yang keluar dari pori-pori kulit juga membawa panas melalui uap, maka keringat dapat menurunkan suhu tubuh.

Untuk penurunan atau kenaikan suhu tubuh normal manusia rata-rata adalah $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Jika lebih atau kurang dari itu dapat terindikasi kelainan atau sedang mengalami demam, *hypothermia*, *hyperthermia*, atau kelainan lain (Nalin, 2016).

Berikut dibawah ini adalah grafik suhu tubuh kulit manusia rata-rata ditinjau dari beberapa bagian pengukurannya temperatur pada tubuh dan juga ambient temperatur atau temperatur lingkungan dengan suhu normal tubuh bagian dalam manusia adalah 36,89 Celcius.

Skin temperatures

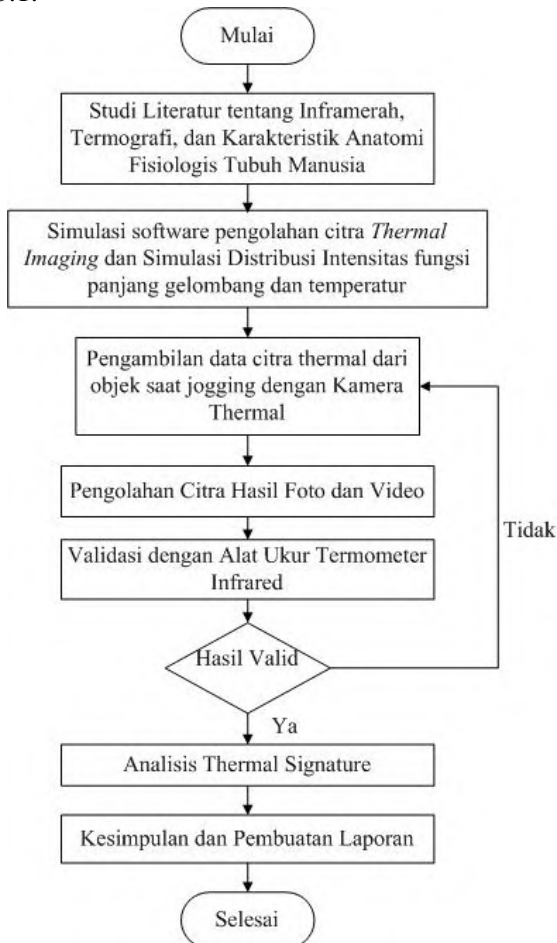


**Gambar 2.11 Suhu Tubuh Manusia
(Sumber: Olesen, 1982)**

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

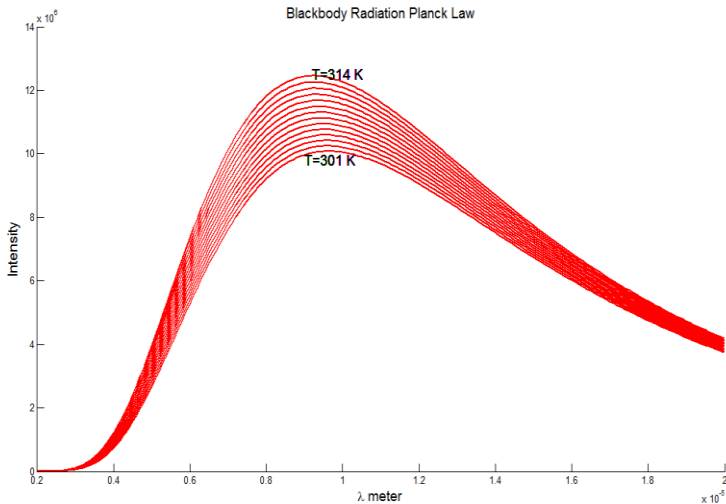
Berikut ini merupakan gambaran umum penelitian Tugas Akhir yang dapat divisualisasikan dalam diagram alir seperti Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Skema diagram alir penelitian Tugas Akhir

3.2 Simulasi software

Dari simulasi distribusi temperatur suhu tubuh manusia dari 301 K - 314 K bahwa intensitas tertinggi terjadi pada panjang gelombang 9,1-9,6 μm . Dan intensitasnya adalah 10^7 - $1,245 \times 10^7$ Watt/ $\text{m}^2 \mu\text{m sr}$. Maka dengan ini kamera thermal yang digunakan adalah kamera dengan sensor *inframerah* yang sensitif dengan panjang gelombang antara 9,1-9,6 μm . Terlebih untuk resolusi dari temperatur manusia yang kecil perubahannya. Maka kamera yang paling optimal adalah kamera dengan range antara 7-15 μm agar perubahan temperatur dengan resolusi kecil sekalipun terlihat perbedaannya sesuai dengan hasil simulasi.



Gambar 3.2 Distribusi Intensitas dari Blackbody Radiation Hukum Planck

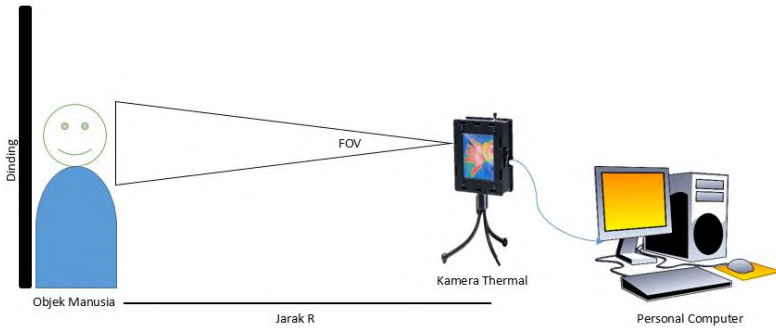
3.3 Data Citra *Thermal imaging*

Data citra diambil dengan menggunakan kamera thermal imager type CEM DT-9875 fasilitas dari Laboratorium Sensor dan Sistem Telekontrol Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika Fakultas Teknik UGM, Jogjakarta. Dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3.1 Spesifikasi Kamera Thermal

1	Field Of View(FOV)/ Minimum Focus Distance	29,8° x 22,6° / 0,2 m
2	Thermal Sensitivity/ NETD	< 0,08° C/ 80 mK
3	Focal Length	7,5 mm
4	Focal Plane Array/ Spectral Range	Uncooled Microbolometer/ 8-14 µm
5	IR Resolution	160x120 pixel
6	Object Temp Range	-20° C to +150° C 0° C to 400° C
7	Accuracy	±2° C or 2% of reading
8	Video Format	640x480 @30fps MPEG-4

Untuk pengambilan data dengan kamera thermal dilakukan dengan jarak pengambilan objek adalah 1 meter. Pengondisian lingkungan dalam keadaan lampu ruangan mati dan tidak ada pendingin ruangan. Perlakuan untuk setiap objek adalah berlari *jogging* di tempat untuk masing-masing orang adalah selama 10 menit non-stop. Untuk volunteer adalah 9 wanita dan 9 laki-laki dengan usia 20-24 tahun. Data diambil sebelum (kondisi *baseline*), kemudian direkam menggunakan aplikasi mode video, kemudian diambil gambar setelah melakukan aktifitas (citra *after*). Untuk pengondisian objek sendiri diasumsikan sebelum melakukan *jogging* diabaikan. Parameter lain selain pencahayaan dan pendingin ruangan terkait pengondisian lingkungan juga diabaikan.



Gambar 3.3 Skema Pengambilan Data

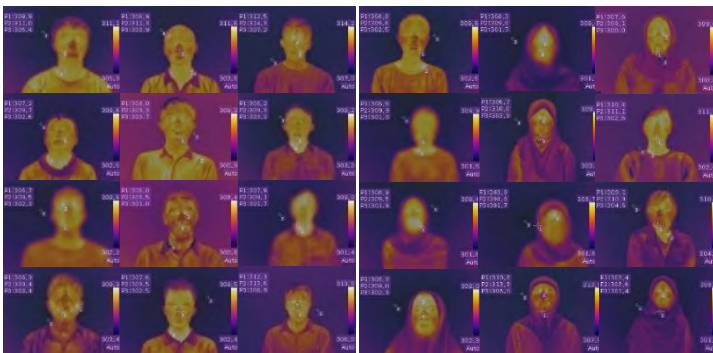


Gambar 3.4 Dokumentasi Set Up Data

Untuk pengondisian volunteer diasumsikan dalam kondisi yang sama sebelum melakukan *jogging*. *Jogging* dilakukan pada antara pukul 10.00-16.00 WIB. Untuk kondisi suhu awal tiap volunteer berbeda-beda dan juga untuk suhu lingkungan range suhu antara 28°C - 30°C .



Gambar 3.5 Dokumentasi Pengambilan Data

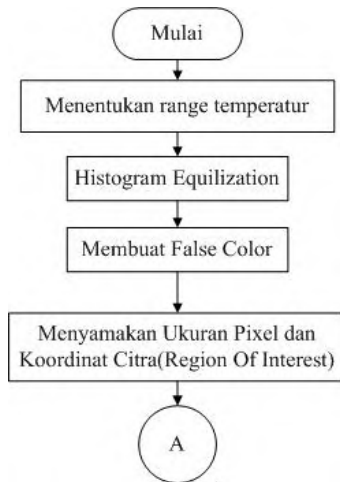


Gambar 3.6 Data *Thermal imaging*

Sebagai data pembanding digunakan pula alat ukur lain yaitu termometer IR Kriesbow KW06-559 pengukuran dilakukan di beberapa titik koordinat di wajah, yaitu region dekat mata, daerah hidung, daerah pipi, dan dagu.

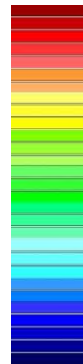
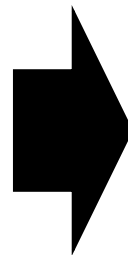
3.4 *Preprocessing Citra*

Berikut ini merupakan gambaran tahapan *preprocessing* yang dapat divisualisasikan dalam diagram alir seperti Gambar 3.6.



Gambar 3.7 Diagram Alir *Preprocessing* Citra













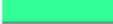



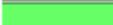
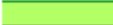











Dalam tahap *preprocessing* adalah tahap awal sebelum pengolahan citra. Yang pertama menentukan data citra yang baik kualitasnya yaitu citra dengan hasil kamera pada saat fokus. Kemudian setelah dilakukan pemilahan, tahap selanjutnya adalah menentukan range temperatur dari terendah sampai tertinggi untuk membuat *false color*.



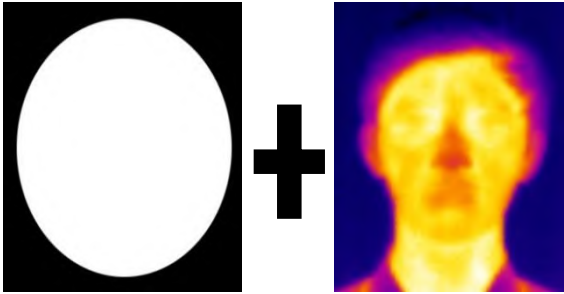
Gambar 3.8 *False Color Map*

Dari nilai maksimum dan minimum temperatur untuk *color map*, dibuat 29 *false color*. Dimana terendah adalah 28,5 ° C sampe 30,2 ° C adalah temperatur lingkungan dan diatasnya sampai dengan 37,1 ° C adalah temperatur wajah manusia. Warna *false color* menunjukkan semakin merah adalah semakin tinggi temperatur dan semakin biru semakin rendah temperatur.

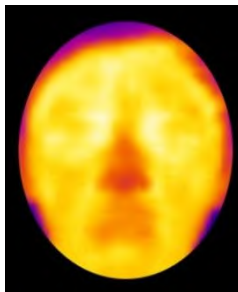
Tabel 3.2 Tabel Hubungan *Color Map* dan Temperatur

No	RGB Color	(R, G, B) Number	Grayscale Number	Range Temperatur (°C)	Rata-rata Temperatur (°C)
1		0, 0, 112	0-7	28,5-28,7	28,6
2		0, 0, 153	8-15	28,8-29	28,9
3		0, 0, 204	16-24	29,1-29,3	29,2
4		0, 0, 255	25-33	29,4-29,6	29,5
5		51, 51, 255	34-42	29,7-29,9	29,8
6		0, 128, 255	43-51	30-30,2	30,1
7		51, 153, 255	52-60	30,3-30,5	30,4
8		51, 255, 255	61-69	30,6-30,8	30,7
9		102, 255, 255	70-78	30,9-31,1	31
10		153, 255, 255	79-87	31,2-31,4	31,3
11		153, 255, 204	88-96	31,5-31,7	31,6
12		102, 255, 178	97-105	31,8-32	31,9
13		51, 255, 153	106-114	32,1-32,3	32,2
14		51, 255, 51	115-123	32,4-32,6	32,5
15		102, 255, 102	124-132	32,7-32,9	32,8
16		153, 255, 153	133-141	33-33,2	33,1
17		204, 255, 153	142-150	33,3-33,5	33,4
18		178, 255, 102	151-159	33,6-33,8	33,7
19		153, 255, 51	160-168	33,9-34,1	34
20		255, 255, 51	169-177	34,2-34,4	34,3
21		255, 255, 102	178-186	34,5-34,7	34,6
22		255, 255, 153	187-195	34,8-35	34,9
23		255, 204, 153	196-204	35,1-35,3	35,2
24		255, 178, 102	205-213	35,4-35,6	35,5
25		255, 102, 102	214-222	35,7-35,9	35,8
26		255, 51, 51	223-231	36-36,2	36,1
27		255, 0, 0	232-239	36,3-36,5	36,4
28		204, 0, 0	240-247	36,6-36,8	36,7
29		153, 0, 0	248-255	36,9-37,1	37

Kemudian langkah selanjutnya adalah menyamakan ukuran pixel dan koordinat citra dengan membuat ROI (*Region Of Interest*) atau cetakan dengan luas 33271 pixel.



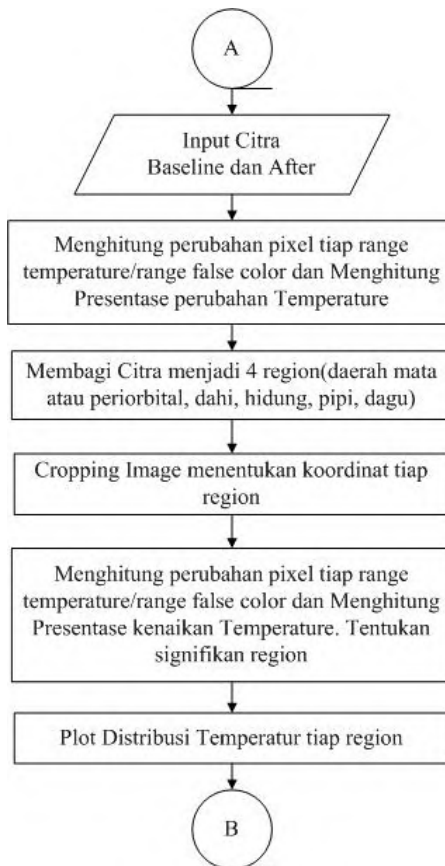
Gambar 3.9 Cetakan ROI dan citra thermal



Gambar 3.10 *Region Of Interest* dari bagian muka

3.5 Pengolahan Citra *Thermal*

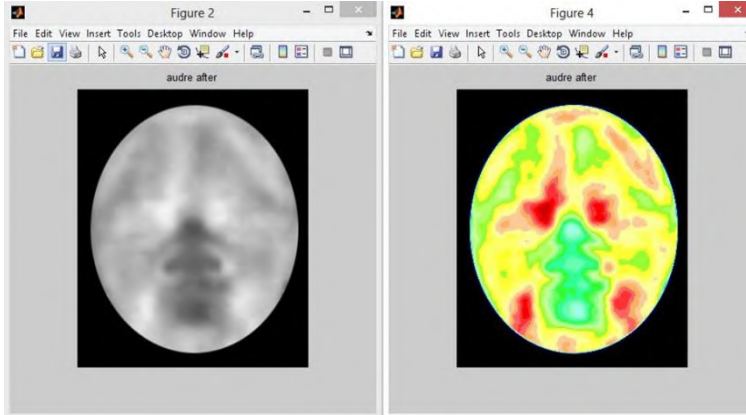
Berikut ini merupakan gambaran tahapan *preprocessing* yang dapat divisualisasikan dalam diagram alir seperti Gambar 3.11. Pengolahan citra berupa gambar diambil dari citra *baseline* dan *after* dari volunteer sebelum dan setelah melakukan aktifitas *jogging*.



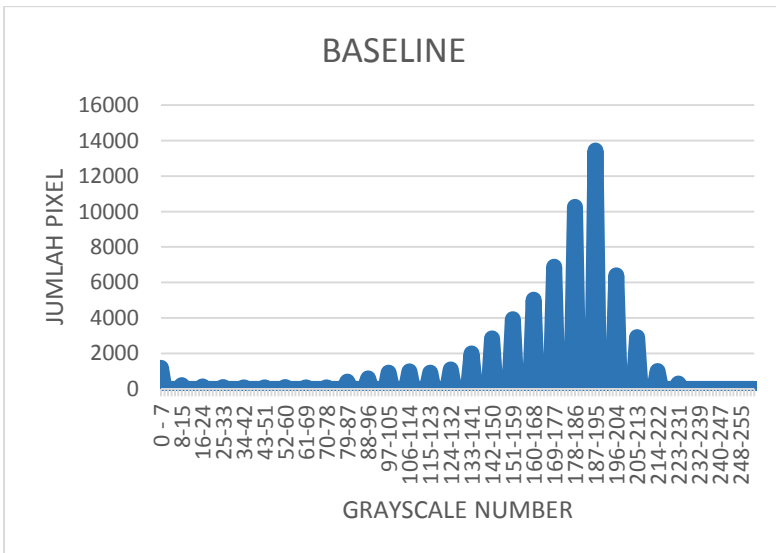
Gambar 3.11 Diagram Alir Pengolahan Citra *Thermal*

Setelah dilakukan tahapan *pre processing*, maka tahap selanjutnya memulai pengolahan citra, yaitu input citra pada algoritma untuk mendapatkan citra *false color* pada gambar dibawah, setelah itu didapatkan nilai pixel untuk tiap kategori *false color* (29 kategori) yang dinyatakan dalam citra RGB menggunakan histogram *equalization*. Setelah itu dilakukan hal yang sama untuk citra *after*, kemudian dibandingkan hasil dari citra

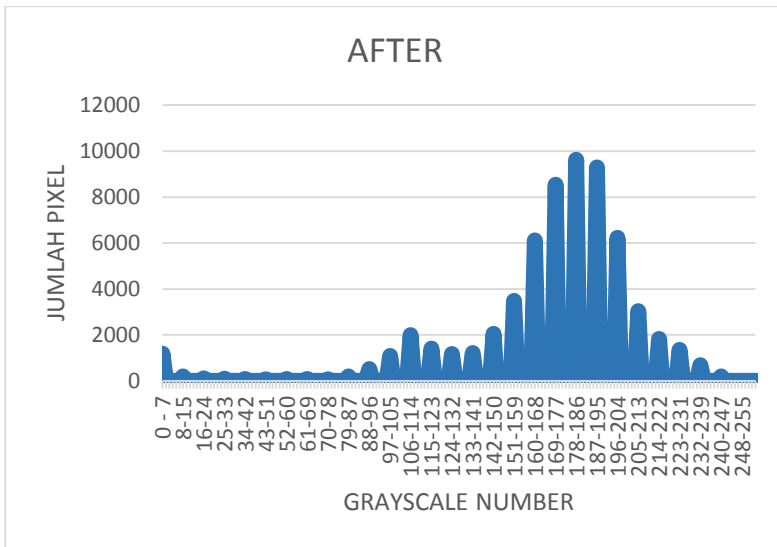
baseline dan *after* untuk mengetahui perubahan temperatur yang terjadi.



Gambar 3.12 Visualisasi *False Color* Untuk Fungsi Temperatur

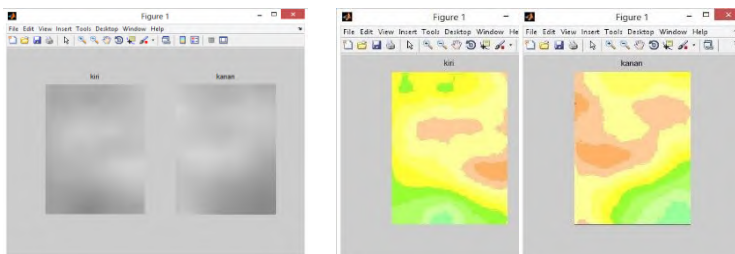


Gambar 3.13 Histogram *Baseline*

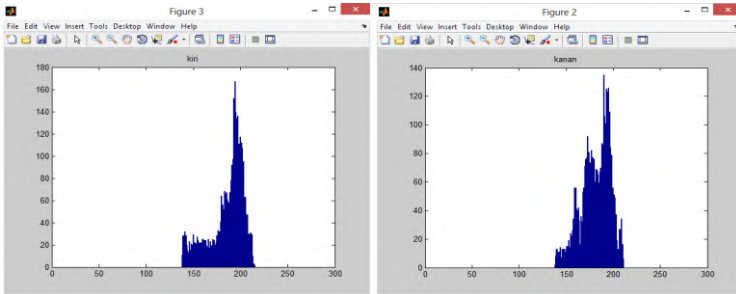


Gambar 3.14 Histogram After

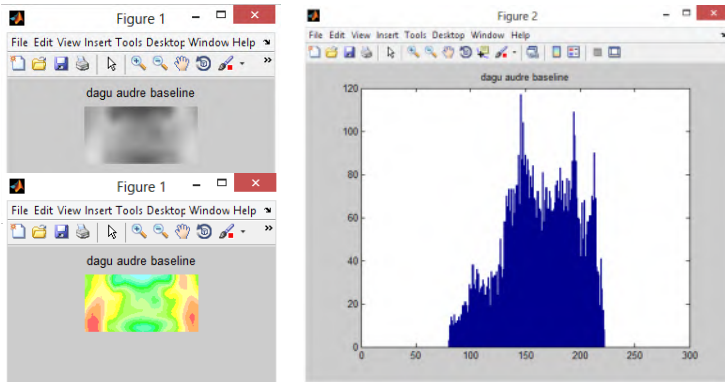
Nilai pixel yang terdapat di hasil histogram *equalization* dari citra *after* dan *baseline* dibandingkan berapa kenaikan temperaturnya. Sebagai pembanding adalah pixel pada daerah anomali yaitu pada temperatur dengan rata-rata nilai pixel tertinggi yaitu pada temperatur 33,7 – 34,6. Setelah itu membagi citra menjadi empat region yaitu region *periorbital* atau daerah dekat mata, hidung, pipi, dan dagu dengan cropping pada region of interest yang telah ditentukan dengan koordinat yang sama.



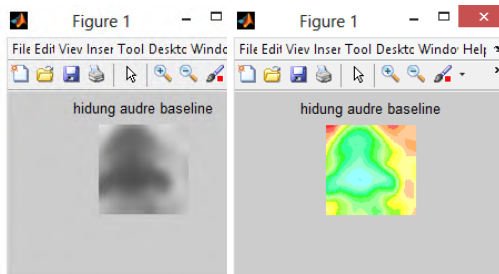
Gambar 3.15 ROI Pipi



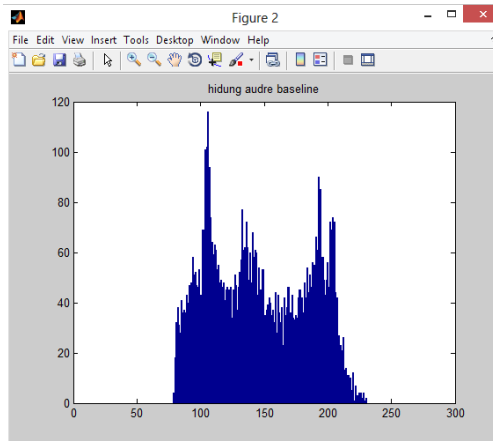
Gambar 3.16 Histogram ROI Pipi



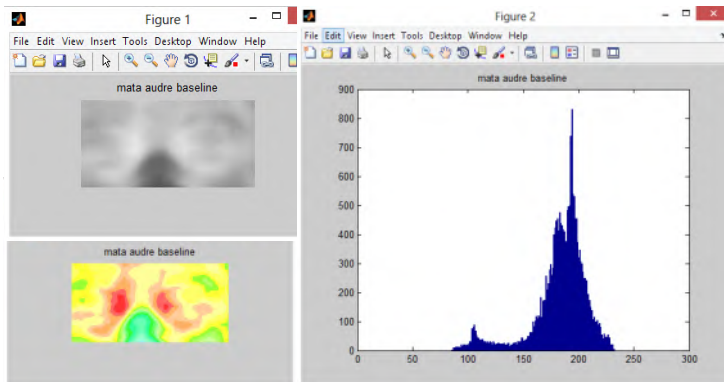
Gambar 3.17 ROI Dagau dan Histogram



Gambar 3.18 ROI Hidung



Gambar 3.19 Histogram ROI Hidung



Gambar 3.20 ROI dan Histogram Daerah Mata

Dari total ukuran citra yaitu 340x280 pixel maka, untuk koordinat tiap region, yaitu untuk region pipi kiri (140:210,40:90), pipi kanan (140:210,180:230), dengan ukuran citra menjadi 71x51 pixel. Kemudian untuk region dagu koordinatnya adalah (210:270,80:200) dengan ukuran citra 61x121 pixel. Region daerah *periorbital* atau daerah dekat mata dengan koordinat

(100:200,50:250) dengan ukuran citra 101x201 pixel. Region hidung dengan koordinat (160:240,110:190) dengan ukuran citra 81x81 pixel. Tahap selanjutnya adalah menghitung selisih jumlah pixel *after* dan *baseline*. Jumlah pixel akan menentukan distribusi temperatur selama aktifitas *jogging* pada bagian wajah. Kemudian menghitung persentase perubahan temperatur yang terjadi dan menentukan region pada bagian wajah yang paling signifikan perubahannya. Untuk persamaan perhitungan persentase adalah sebagai berikut:

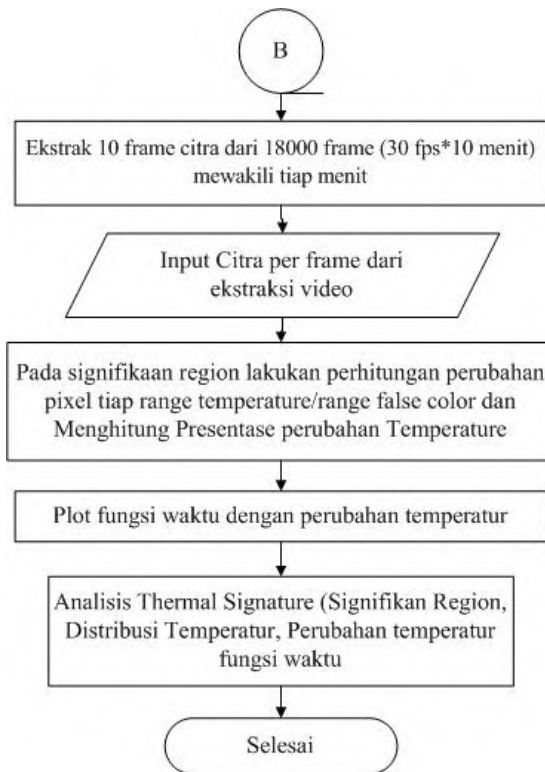
$$\frac{p \times q \times 100\%}{m \times n} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana p adalah jumlah pixel *after* pada bagian anomali, q adalah jumlah pixel *baseline* pada bagian anomali, m adalah ukuran pixel sumbu y dan n adalah ukuran pixel sumbu x.

3.6 Pengolahan Citra Hasil Ekstraksi *Frame Video*

Berikut ini merupakan gambaran tahapan *preprocessing* yang dapat divisualisasikan dalam diagram alir seperti Gambar 3.5. Pengolahan citra berupa ekstraksi *frame video* perekaman *jogging* dari volunteer.

Pada tahap yang pertama adalah mengekstrak *frame* dari video berdurasi 10 menit. Dari durasi selama 10 menit sendiri ditentukan berdasarkan sistem kerja *treadmill* alat fitness, bahwa untuk *jogging* dalam penentuan *performance*, pada fitness test program untuk *jogging* sendiri 5 *3-minutes* stages. Dimana setiap stages terdiri dari durasi 3 menit. Sebagai penentuan durasi *jogging* sendiri rata-rata adalah 3 *3-minutes* stages. Dimana untuk penelitian ini dianggap 3 *3-minutes* stages program. Kemudian untuk resolusi video adalah 30 fps yang berarti bahwa dalam 10 menit ada sekitar 18000 *frame* citra. Dari 18000 *frame* diambil kurang lebih 10-30 *frame* yang mewakili tiap menit.



Gambar 3.21 Diagram Alir Pengolahan Citra Video

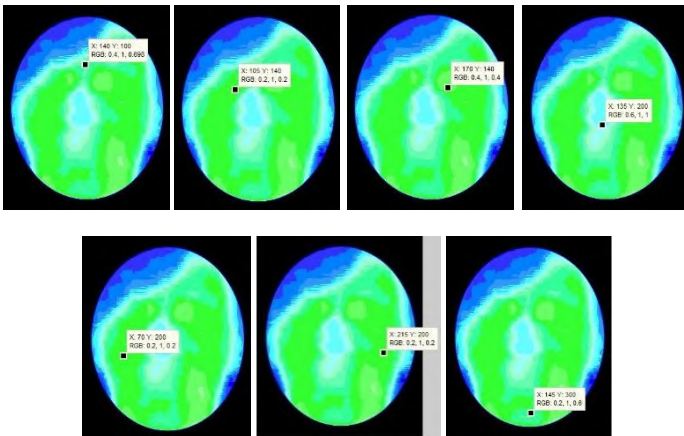
Kemudian dari 10-30 *frame* diambil 10 *frame* yang memiliki karakteristik yang hampir sama dalam hal gerakan, karena kecenderungan objek bergerak ketika melakukan aktifitas *jogging*, maka untuk mendapatkan posisi yang sama tiap waktu cukup sulit, maka diambil citra yang memiliki kecenderungan sama. Untuk waktunya menit pertama yaitu *frame* pada menit ke (0.45-1.44), menit kedua yaitu *frame* pada menit ke (1.45-2.44), menit ketiga yaitu *frame* pada menit ke (2.45-3.44), menit keempat yaitu *frame* pada menit ke (3.45-4.44), menit kelima yaitu *frame* pada menit ke (4.45-5.44), menit ke enam yaitu *frame* pada menit ke (5.45-6.44), menit ketujuh yaitu *frame* pada menit ke (6.45-7.44), menit

kedelapan yaitu *frame* pada menit ke (7.45-8.44), menit kesembilan yaitu *frame* pada menit ke (8.45-9.44), menit kesepuluh yaitu *frame* pada menit ke (9.45-10.00).



Gambar 3.22 10 *Frame* Video Yang Mewakili *Frame* Per Menit

Untuk tahapan selanjutnya, prosesnya sama seperti pengolahan citra foto. Setelah didapatkan masing-masing 10 *frame* tiap objek, maka pengolahan citra tiap *frame*. Setelah itu ditentukan tujuh titik untuk mengamati perubahan temperatur pada region-region yang sudah ditentukan, yaitu mata, pipi, hidung, dagu, dahi. Setelah itu, distribusi temperatur fungsi waktu didapatkan. Kemudian tahap selanjutnya analisis profil *thermal signature*, kemudian distribusi temperatur dan perubahan temperatur terhadap waktu serta pengaruh perubahan temperatur terhadap fisiologis tubuh manusia.



Gambar 3.23 Titik Koordinat Pada Masing-Masing Region

BAB IV

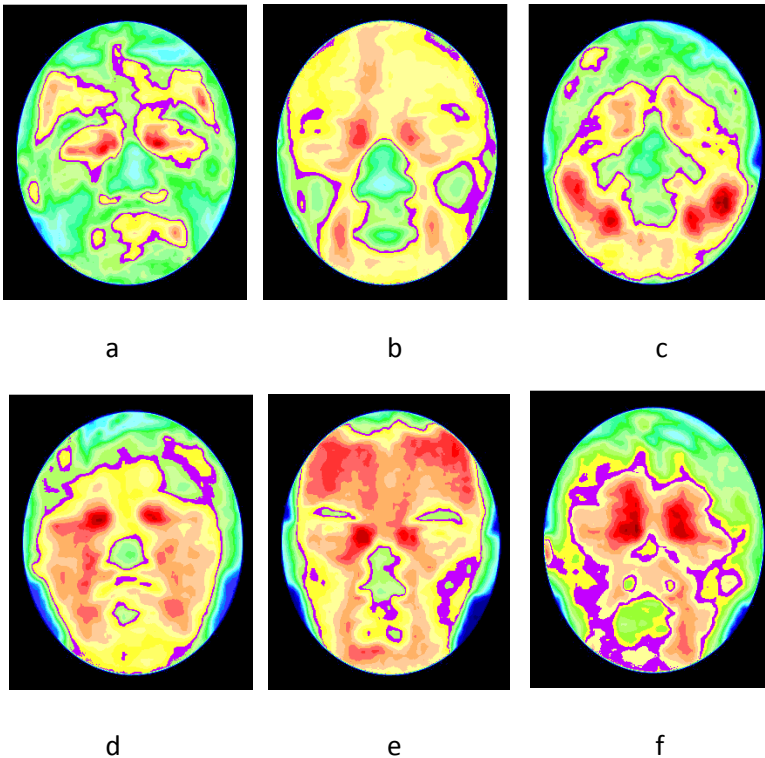
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil dan Analisis *Thermal signature* Wajah Manusia

Thermal signature adalah karakteristik atau ciri khusus dari radiasi thermal objek. Setiap manusia memiliki *thermal signature* yang berbeda-beda. Untuk setiap aktifitas signature yang didapatkan juga berbeda. Perbedaan ini disebabkan oleh energi yang diradiasikan oleh objek, yang dipengaruhi oleh emisivitas, temperatur lingkungan dan temperatur permukaan dari objek itu sendiri. Temperatur tiap objek juga berbeda tergantung dari sifat fisis dari objek itu sendiri dan juga aktifitas dari objek tersebut. seperti dijelaskan dalam persamaan 2.7. Melalui instrumen pengukuran yaitu thermal camera, sensor menangkap energi radiasi, kemudian melalui pengondisian sinyal dan pemrosesan sinyal, dan output display berupa citra yang memuat informasi temperatur. Temperatur dipresentasikan berupa warna. Citra yang berupa susunan pixel, dimana setiap pixel memiliki nilai RGB atau warna yang berbeda-beda, dimana pixel disini adalah sebuah titik koordinat pada citra. Citra berukuran 8 bit sehingga jangkauan nilai kuantisasi aras intensitas maksimal adalah 256, dimana pada nilai grayscale suatu citra berwarna, apabila dinyatakan dalam histogram adalah 0-255. Kemudian setiap pixel memiliki komponen RGB dimana masing-masing pixel memiliki nilai grayscale number 0-255 yang berbeda-beda. Dari nilai grayscale number yang berbeda-beda untuk tiap pixel ini, maka tiap grayscale number dibagi kedalam kelompok untuk setiap range temperatur. Memang pada hasil data citra thermal sudah dipresentasikan informasi temperatur dalam bentuk warna RGB yang berbeda-beda. Namun, perlu dilakukan akuisisi data citra untuk mendapatkan distribusi temperaturnya.

Dari gambar 4.1 dibawah ini adalah citra thermal wajah dari beberapa naracoba sebelum melakukan *jogging*. Warna menyatakan informasi temperatur, signature pada masing-masing naracoba berbeda-beda. Untuk color map, warna citra ada pada tabel 3.2. Untuk warna semakin merah adalah temperatur semakin

tinggi dan untuk warna semakin biru adalah temperatur semakin rendah. Untuk warna hijau dan kuning adalah temperatur antara. Untuk warna ungu adalah temperatur rata-rata wajah manusia, dimana sebagai nilai ambang pada penentuan temperatur pada wajah naracoba. Dimana untuk nilai temperatur ambang atau temperatur rata-rata keseluruhan adalah 34°C . Jadi Untuk warna merah dan kuning adalah temperatur diatas 34°C , dan untuk warna hijau dan biru adalah dibawah temperatur 34°C . Tampak pada keenam naracoba distribusi warna berbeda-beda diakibatkan energi inframerah yang diradiasikan oleh masing-masing naracoba juga berbeda-beda.



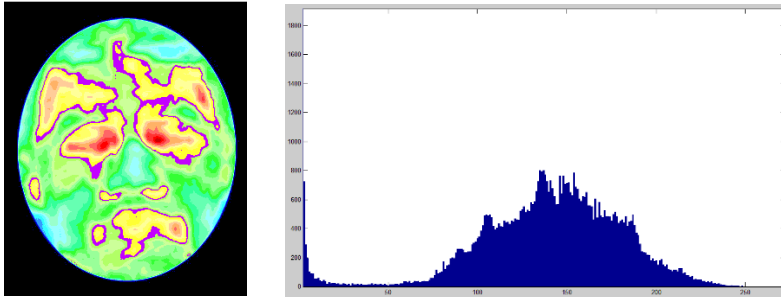
Gambar 4.1 *Thermal signature* Wajah Manusia

4.2 Hasil dan Analisis Distribusi Temperatur Setelah Aktifitas *Jogging*

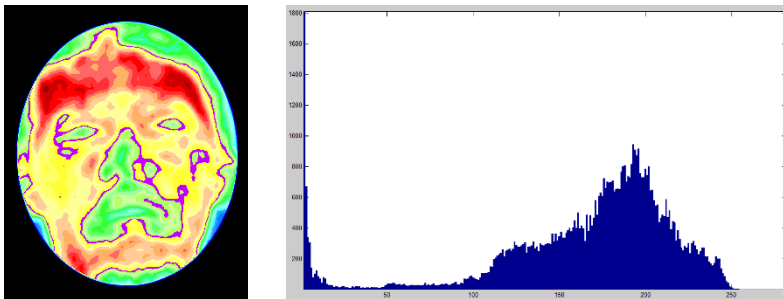
Aktifitas fisik yang dilakukan manusia sangat beragam, seperti halnya berolahraga dan salah satu yang paling sering dilakukan adalah olahraga lari atau *jogging*. Pada saat beraktifitas, khususnya *jogging*, suhu tubuh manusia akan mengalami perubahan. Untuk mengetahui perubahan temperatur dari tubuh manusia ini dapat dianalisis dengan teknik termografi inframerah. Untuk mengetahui performansi dari seseorang terhadap aktifitas fisik, jika perubahan yang terjadi sangat signifikan dapat diindikasikan bahwa seseorang tersebut mengalami kelainan seperti *hyperthermia* maupun *hypothermia*.

Untuk mengetahui perubahannya, berikut adalah beberapa hasil citra termografi dari beberapa naracoba setelah dilakukan pengolahan citra untuk hasil data *thermal imaging*, pada langkah ini adalah menghitung distribusi temperatur pada setiap objek manusia dengan kondisi *baseline* dan sesudah melakukan aktifitas fisik *jogging* dengan menggunakan histogram *equilization* untuk yang pertama. Nilai temperatur terendah dan tertinggi sudah ditentukan, yaitu terendah adalah 28,5 °C dan tertinggi adalah 37,1 °C (Untuk Temperatur lingkungan 28,5-30,1). Maka dengan resolusi 0,1°C, maka range temperatur dari 28,5 °C-37,1 °C ada 87 temperatur yang berbeda. Dimana dari 87 temperatur dibagi kedalam 29 kelompok yang dinyatakan dalam visualisasi *false color map RGB*.

Perlu diketahui untuk distribusi temperatur pada wajah secara keseluruhan pada saat sebelum dan sesudah aktifitas *jogging* terjadi perubahan temperatur, dimana perubahan temperatur menyebabkan terjadinya perubahan *signature*. Berikut dibawah ini adalah gambar dari distribusi temperatur sebelum dan sesudah aktifitas *jogging* pada contoh beberapa naracoba. Perubahan ditunjukkan dari visualisasi perubahan warna dan juga histogram dari citra.

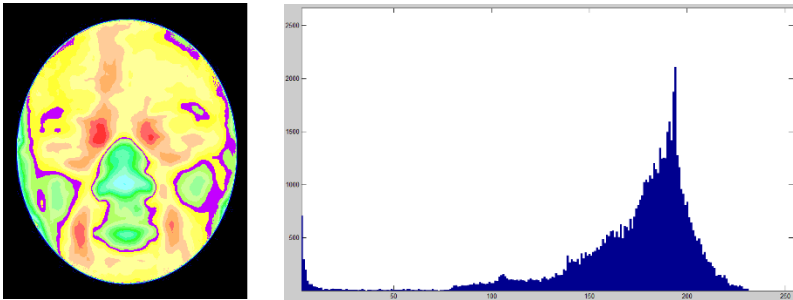


Gambar 4.2 Naracoba A sebelum aktifitas *Joging*

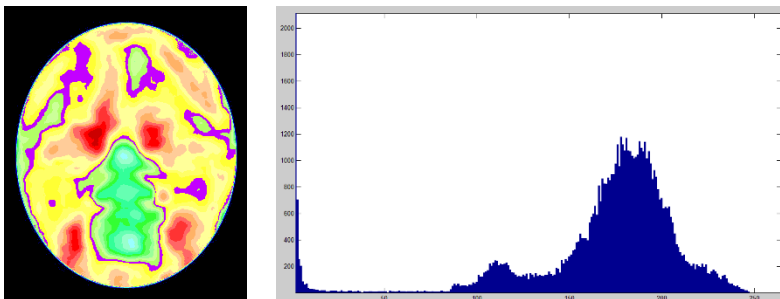


Gambar 4.3 Naracoba A setelah aktifitas *Joging*

Pada gambar 4.2 dan 4.3 perubahan *thermal signature* tampak dengan perubahan warna pada wajah pada gambar kiri, dan perubahan histogram di gambar sebelah kanan. Pada gambar diatas, untuk temperatur rata-rata yang paling dominan dari wajah para naracoba ditunjukkan oleh warna ungu, yaitu temperatur 34°C . Maka untuk temperatur tersebut yang dijadikan acuan untuk melihat perubahannya. Untuk naracoba A, perubahan sangat jelas terlihat, untuk perubahan suhu diatas 34°C meningkat sebanyak 53% ditunjukkan dari perubahan nilai pixel warna hijau dan biru menjadi kuning dan merah. Untuk temperatur awal rata-rata dari keseluruhan wajah naracoba A adalah $33,34^{\circ}\text{C}$ menjadi $33,4^{\circ}\text{C}$. Kenaikan sebesar $0,06^{\circ}\text{C}$.

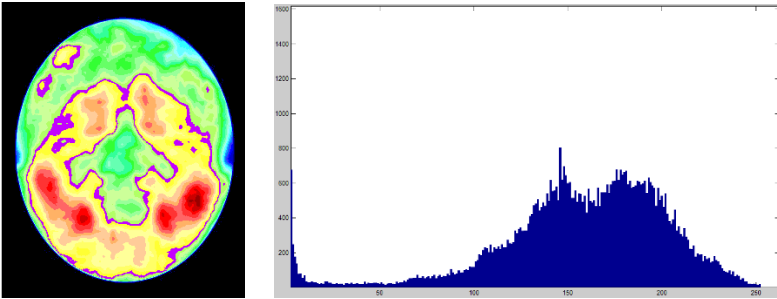


Gambar 4.4 Naracoba B sebelum aktifitas *Jogging*

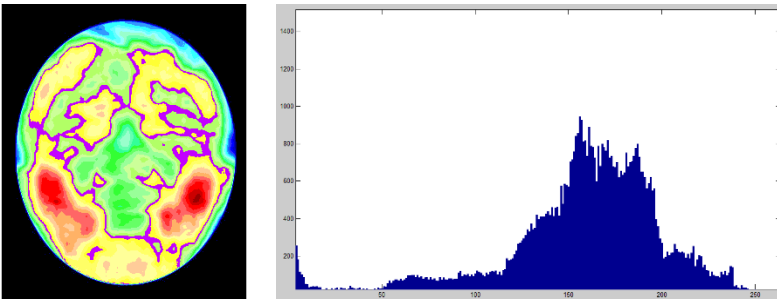


Gambar 4.5 Naracoba B setelah aktifitas *Jogging*

Pada gambar diatas 4.4 dan 4.5 perubahan *thermal signature* tampak dengan perubahan warna pada wajah pada gambar kiri, dan perubahan histogram di gambar sebelah kanan. Untuk histogram menyatakan distribusi temperatur dari gambar di kiri. Untuk nilai perubahannya pada naracoba B, untuk kenaikan temperatur juga terlihat dengan perubahan luasan warna hijau dan biru menjadi kuning dan merah, untuk kenaikannya sebanyak 1,3%. Dengan temperatur mula-mula yaitu 33,34°C menjadi 33,36 °C. Kenaikan sebanyak 0,02 °C setelah melakukan aktifitas *jogging*.

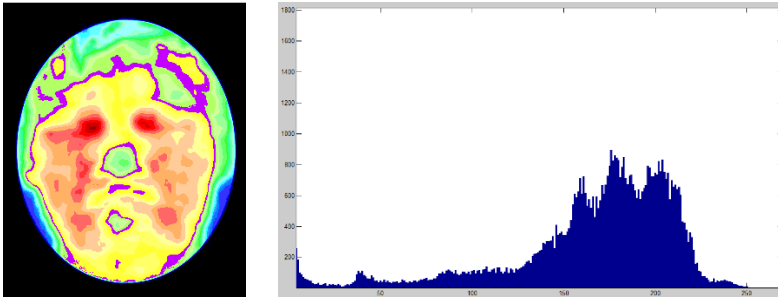


Gambar 4.6 Naracoba C sebelum aktifitas *Jogging*

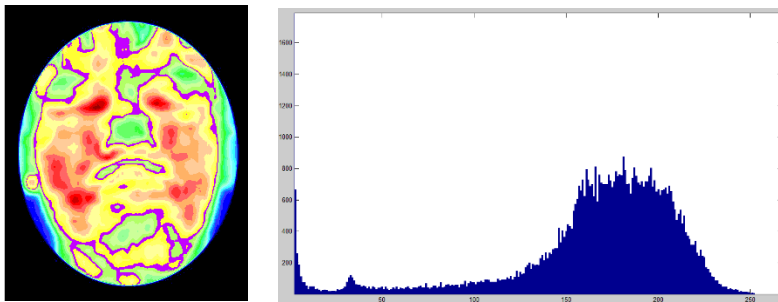


Gambar 4.7 Naracoba C setelah aktifitas *Jogging*

Pada gambar diatas 4.6 dan 4.7 perubahan *thermal signature* tampak dengan perubahan warna pada wajah pada gambar kiri, dan perubahan histogram di gambar sebelah kanan. Untuk histogram menyatakan distribusi temperatur dari gambar di kiri. Untuk nilai perubahannya untuk naracoba C, kenaikan temperatur dari perubahan luasan warna hijau dan biru menjadi kuning dan merah adalah sebesar 2,13%. Dengan temperatur rata-rata pada kondisi *baseline* adalah 33,91 °C menjadi 33,95 °C pada kondisi setelah aktifitas *jogging*. Dengan selisih temperatur 0,04 °C.

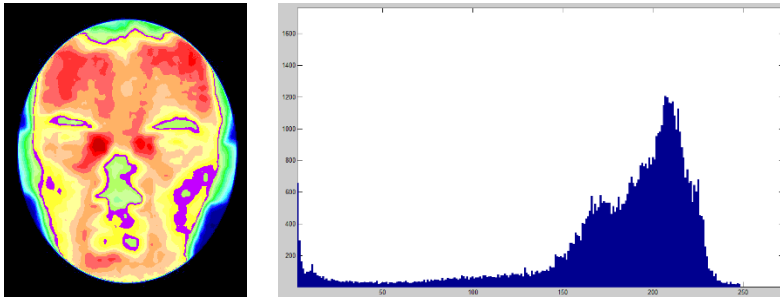


Gambar 4.8 Naracoba D sebelum aktifitas *Jogging*

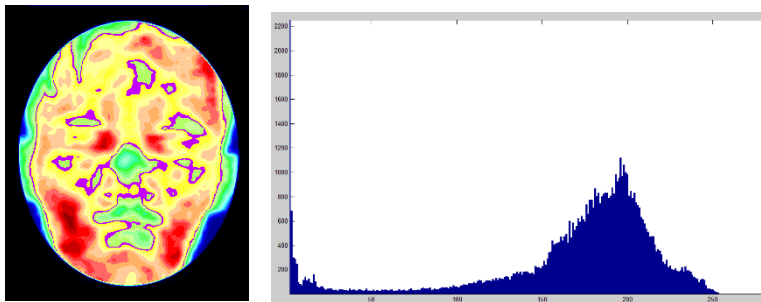


Gambar 4.9 Naracoba D setelah aktifitas *Jogging*

Pada gambar diatas 4.8 dan 4.9 perubahan *thermal signature* tampak dengan perubahan warna pada wajah pada gambar kiri, dan perubahan histogram di gambar sebelah kanan. Untuk histogram menyatakan distribusi temperatur dari gambar di kiri. Untuk nilai perubahannya pada naracoba D, untuk kenaikan temperatur juga terlihat dengan perubahan luasan warna hijau dan biru menjadi kuning dan merah, untuk kenaikannya sebanyak 1,72%. Dengan temperatur mula-mula yaitu 34,26°C menjadi 34,31 °C. Kenaikan sebanyak 0,05 °C setelah melakukan aktifitas *jogging*.

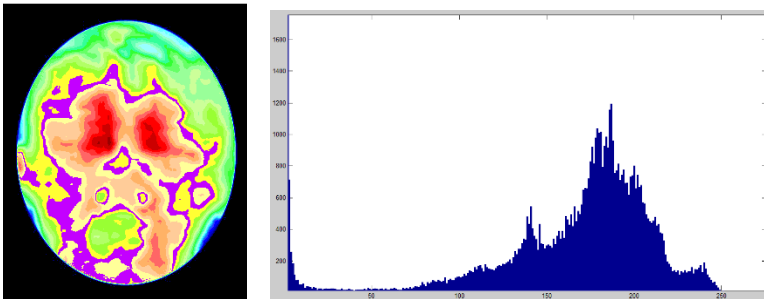


Gambar 4.10 Naracoba E sebelum aktifitas *Jogging*

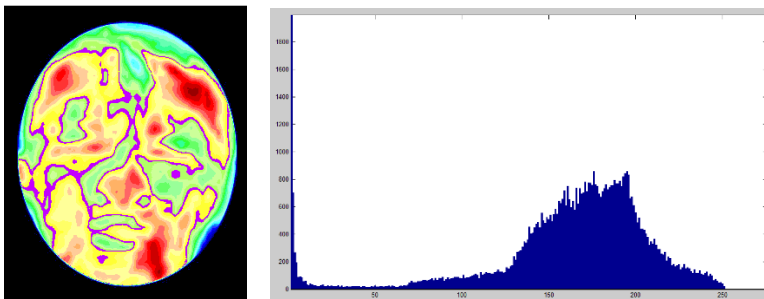


Gambar 4.11 Naracoba E setelah aktifitas *Jogging*

Pada gambar diatas 4.10 dan 4.11 perubahan *thermal signature* tampak dengan perubahan warna pada wajah pada gambar kiri, dan perubahan histogram di gambar sebelah kanan. Untuk histogram menyatakan distribusi temperatur dari gambar di kiri. Untuk nilai perubahannya pada naracoba E, untuk kenaikan temperatur juga terlihat dengan perubahan luasan warna hijau dan biru menjadi kuning dan merah, untuk kenaikannya sebanyak 5,72%. Dengan temperatur mula-mula yaitu 34,54°C menjadi 34,74 °C. Kenaikan sebanyak 0,20 °C setelah melakukan aktifitas *jogging*.



Gambar 4.12 Naracoba F sebelum aktifitas *Jogging*



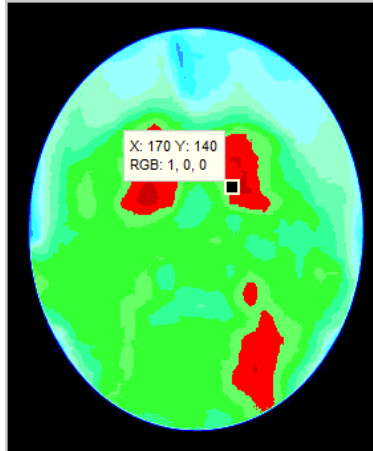
Gambar 4.13 Naracoba F setelah aktifitas *Jogging*

Dan untuk naracoba F untuk gambar diatas 4.12 dan 4.13, untuk kenaikan temperatur juga terlihat dengan perubahan luasan warna hijau dan biru menjadi kuning dan merah, untuk kenaikannya sebanyak 7,06%. Dengan temperatur mula-mula yaitu 34,22°C menjadi 34,31 °C. Kenaikan sebanyak 0,09 °C setelah melakukan aktifitas *jogging*.

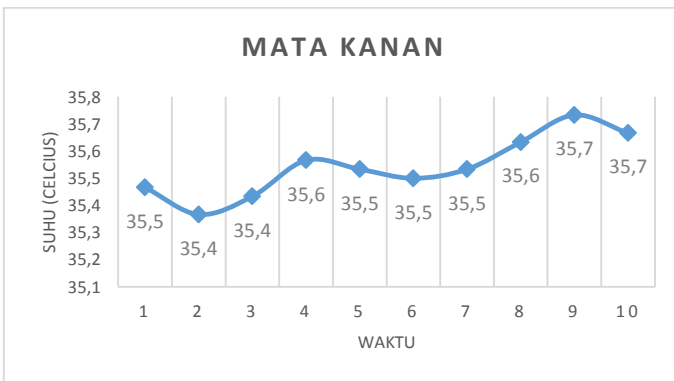
4. 3 Hasil dan Analisis Pengolahan Citra Video

Pengolahan citra video adalah untuk mengetahui distribusi temperatur fungsi waktu, bagaimana perubahan jumlah pixel dalam fungsi waktu. Grafik dibawah ini adalah rata-rata dari distribusi temperatur dari naracoba untuk mendapatkan profil distribusinya terhadap waktu. Untuk pengolahan data video diambil 10 frame yang mewakili tiap menit. Kemudian dilakukan pengolahan citra

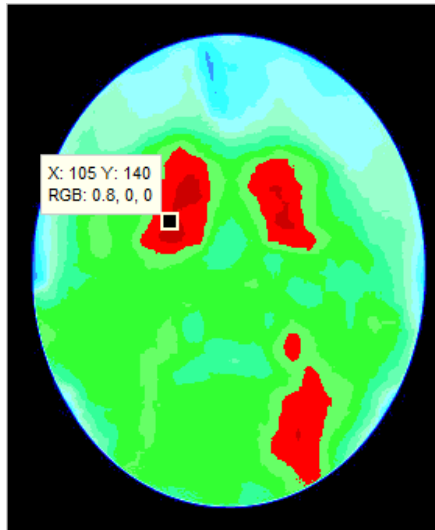
histogram equalization dan didapatkan tren profil perubahan temperatur seperti gambar disamping. Adapun sumbu x menyatakan waktu, sedangkan sumbu y adalah temperatur. Untuk mengetahui perubahannya, dapat ditinjau dengan mengambil 7 sampel koordinat dari region yang sudah ditentukan.



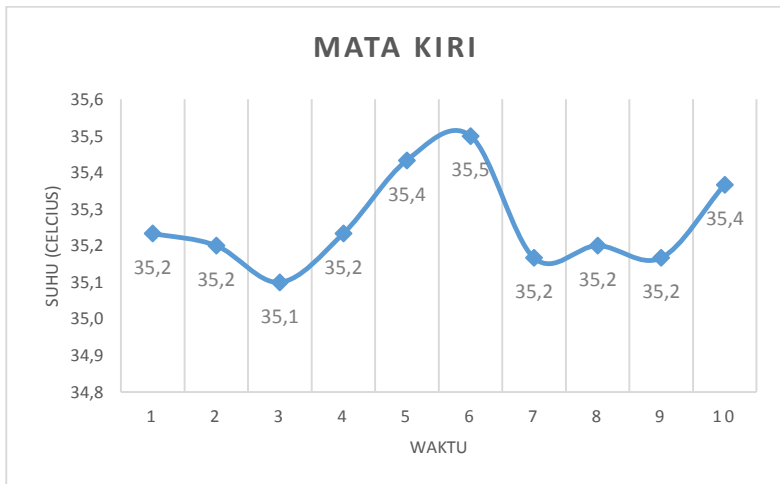
Gambar 4.14 Koordinat Untuk Region Mata Kanan



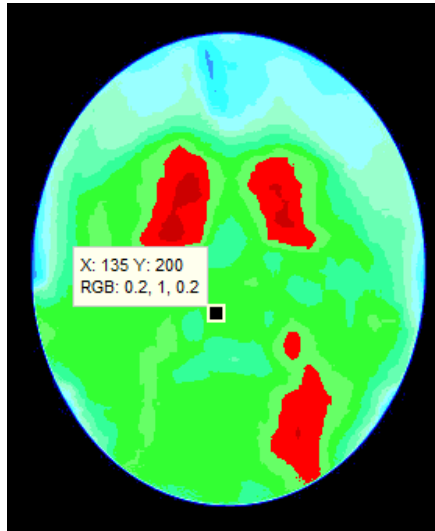
Gambar 4.15 Grafik Perubahan Temperatur Terhadap Fungsi Waktu Region Mata Kanan



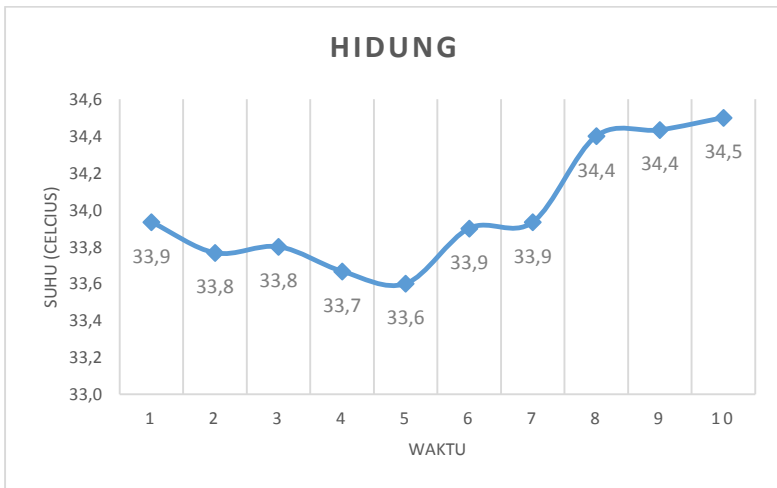
Gambar 4.16 Koordinat Untuk Region Mata Kiri



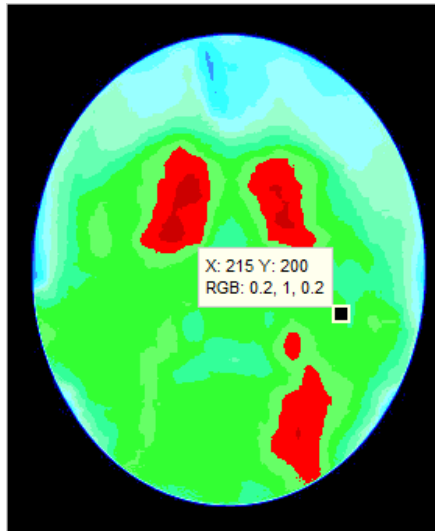
Gambar 4.17 Grafik Perubahan Temperatur Terhadap Fungsi Waktu Region Mata Kiri



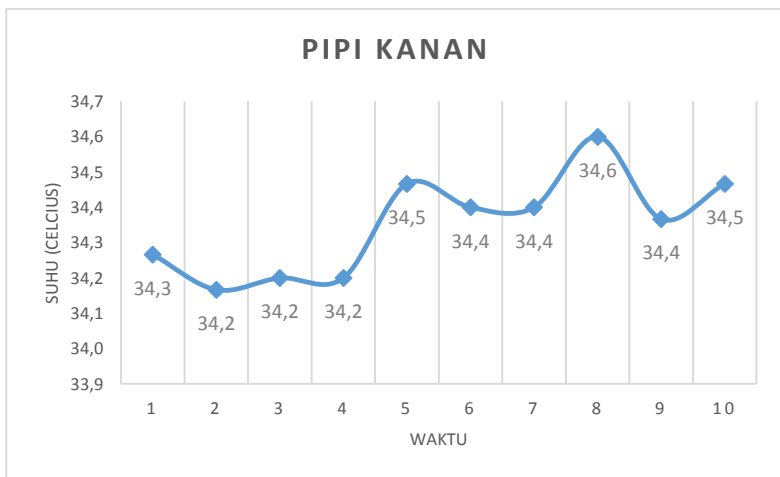
Gambar 4.18 Koordinat Untuk Region Hidung



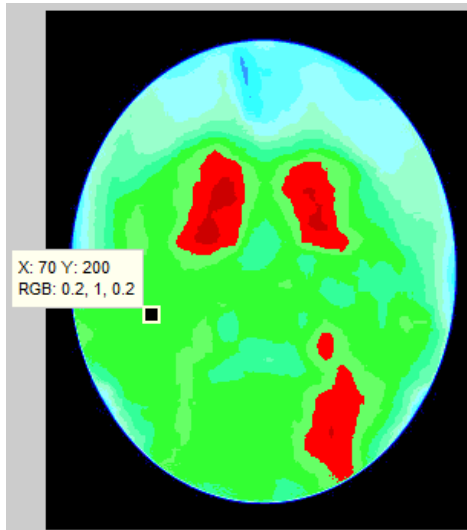
Gambar 4.19 Grafik Perubahan Temperatur Terhadap Fungsi Waktu Region Hidung



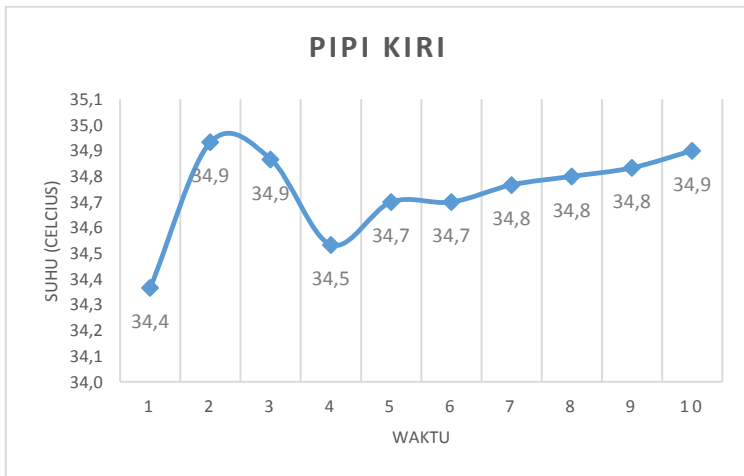
Gambar 4.20 Koordinat Untuk Region Pipi Kanan



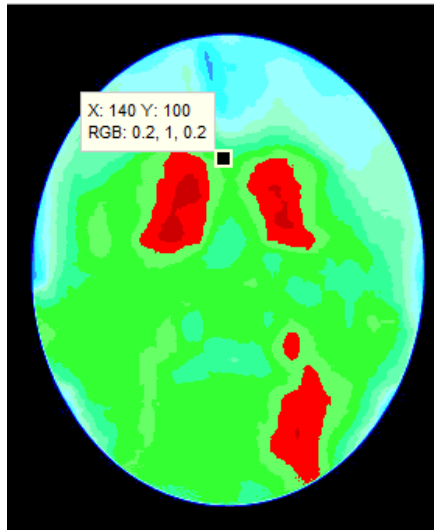
Gambar 4.21 Grafik perubahan temperatur terhadap fungsi waktu region pipi kanan



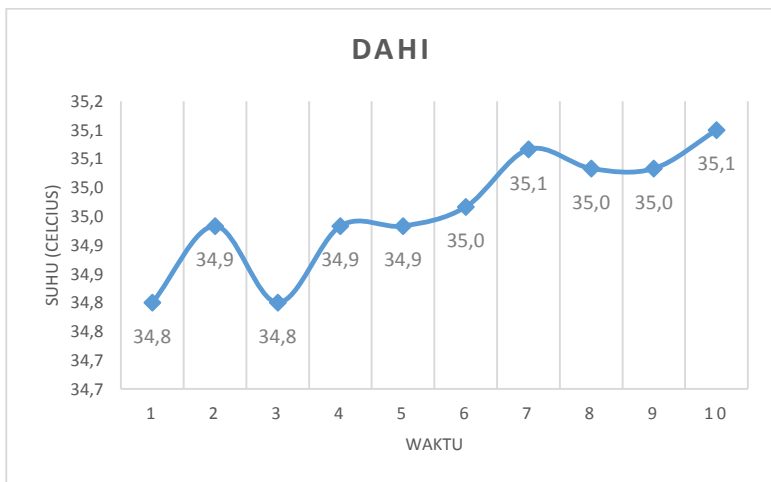
Gambar 4.22 Koordinat Untuk Region Pipi Kiri



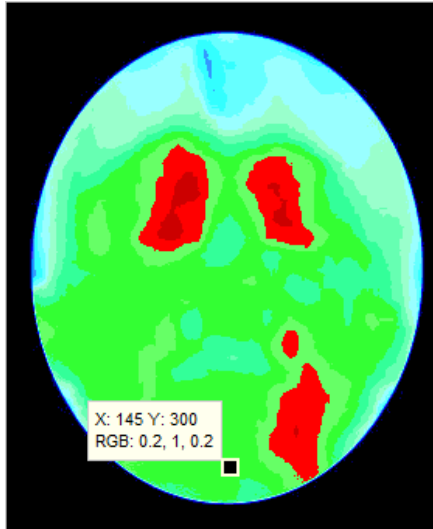
Gambar 4.23 Grafik perubahan temperatur terhadap fungsi waktu region pipi kiri



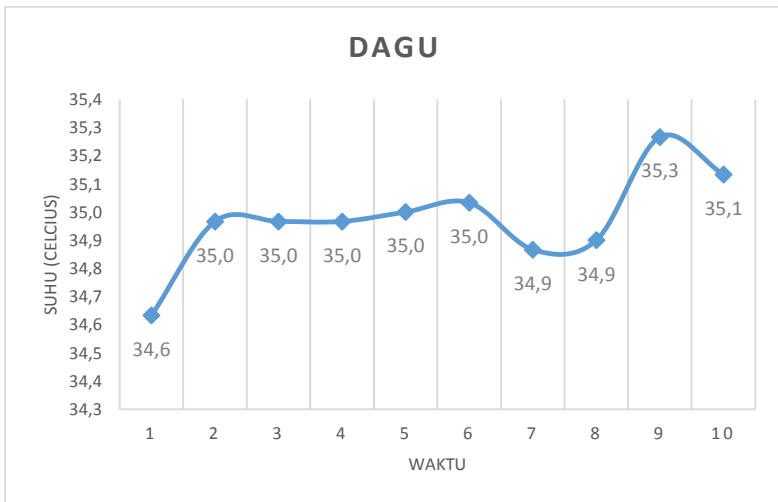
Gambar 4.24 Koordinat Untuk Region Dahi



Gambar 4.25 Grafik perubahan temperatur terhadap fungsi waktu region dahi



Gambar 4.26 Koordinat Untuk Region Daggu



Gambar 4.27 Grafik perubahan temperatur terhadap fungsi waktu region daggu

Dari koordinat yang sudah ditentukan sesuai dengan gambar kemudian diplot untuk setiap citra selama 10 menit, untuk semua titik koordinat temperatur cenderung meningkat. Namun ada beberapa saat temperatur turun kemudian naik, tapi kenaikan atau penurunan yang terjadi tidak signifikan. Untuk region mata kiri dengan koordinat (105x140) rata-rata suhu selama 10 menit adalah 35,5°C dengan suhu minimum adalah 35,4°C dan maksimumnya 35,8 °C dengan selisih suhu 0,4 °C. Untuk region mata kanan dengan koordinat (170x140) rata-rata suhu selama 10 menit adalah 35,3°C dengan suhu minimum adalah 35,1°C dan maksimumnya 35,5 °C dengan selisih suhu 0,4 °C. Untuk region hidung dengan koordinat (135x200) rata-rata suhu selama 10 menit adalah 34°C dengan suhu minimum adalah 33,6°C dan maksimumnya 34,5 °C dengan selisih suhu 0,9 °C. Untuk pipi kanan dengan koordinat (215x200) rata-rata suhu selama 10 menit adalah 34,4°C dengan suhu minimum adalah 34,2°C dan maksimumnya 34,6 °C dengan selisih suhu 0,4°C. Untuk pipi kiri dengan koordinat (75x200) rata-rata suhu selama 10 menit adalah 34,7°C dengan suhu minimum adalah 34,4°C dan maksimumnya 34,9 °C dengan selisih suhu 0,5 °C. Untuk region dahi dengan koordinat (140x100) rata-rata suhu selama 10 menit adalah 35°C dengan suhu minimum adalah 34,8°C dan maksimumnya 35,1 °C dengan selisih suhu 0,3 °C. Untuk region dagu dengan koordinat (145x300) rata-rata suhu selama 10 menit adalah 35°C dengan suhu minimum adalah 34,6°C dan maksimumnya 35,3 °C dengan selisih suhu 0,7 °C.

Dari keseluruhan titik koordinat yang ditentukan perubahan temperatur tidak terlalu signifikan, paling tinggi adalah region hidung yaitu 0,9°C dan paling rendah adalah region dahi yaitu 0,3 °C. Untuk rata-rata temperatur keseluruhan adalah 34,8 °C. Ini masih dalam batas ambang yang normal, yaitu perubahan temperatur masih dibawah 1 °C.

4.4 Validasi Data

Pada penelitian ini diperlukan pengambilan data untuk kebutuhan validasi data, dimana dari data tersebut bisa diperoleh perbandingan suhu. Pengambilan data temperatur menggunakan

termometer inframerah, dan berikut ini merupakan tabel validasi data:

Tabel 4.1. Validasi data

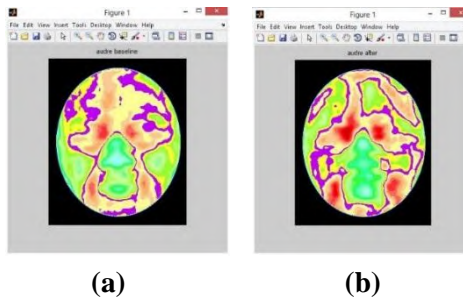
Titik Pengukuran	Koordinat Pengukuran (x,y)	Pengolahan Citra <i>Thermal imaging</i> (Celcius)			Validasi dengan Termometer Infrared KW06-559 Krisbow (Celcius)			% error
		<i>Base line</i>	<i>After</i>	Selisih (X)	<i>Base line</i>	<i>After</i>	Selisih (X)	
Pipi Kanan	203, 217	33,7	33,3	-0,4	32,32	31,94	-0,38	5,26%
Pipi Kiri	71, 218	33,8	33,2	-0,6	32,92	32,3	-0,62	3,23%
Dahi	138, 99	35	34,1	-0,9	34,58	33,6	-0,98	8,16%
Mata Kanan	163, 157	35,5	35,7	0,2	31,9	32,12	0,22	9,09%
Mata Kiri	119, 149	35,6	35,8	0,2	34,44	34,66	0,22	9,09%
Hidung	140, 207	34,8	33,9	0,5	32,62	31,66	0,54	7,41%
Dagu	140, 309	34,6	35,1	-0,9	32,64	33,18	-0,96	6,25%

Data validasi diatas didapat dari persamaan berikut di bawah ini:

$$\% \text{ error} = \text{abs} \left[\frac{X(\text{validasi}) - X(\text{thermal imaging})}{X(\text{validasi})} \right] \times 100\% \dots\dots\dots(4.1)$$

Untuk hasil data validasi selisih temperatur dari pengolahan citra *thermal imaging* dibandingkan dengan hasil pengukuran thermometer infrared. Dan dari selisih temperatur antar masing-masing region pengukuran didapatkan hasil error yaitu 3,23% error minimal dan 9,09% error maksimalnya. Dengan rata-rata error 6,93%.

4.5 Pengaruh dari Regulasi Thermal Suhu Tubuh Manusia



Gambar 4.28 Perubahan temperatur (a) *baseline* (b) *after*

Pada gambar diatas adalah gambar dari salah satu naracoba sebelum dan setelah melakukan aktifitas *jogging*. Pada gambar (a) adalah kondisi *baseline* atau sebelum melakukan *jogging*, sedangkan (b) adalah kondisi setelah melakukan *jogging*. Untuk melihat perubahan distribusinya, digunakan temperatur anomali, yaitu temperatur dengan rata-rata jumlah pixel paling banyak di region wajah, yaitu temperatur 34°C . Ditandai dengan warna ungu. Untuk menghitung jumlah atau nilai kuantitas perubahan jumlah pixelnya dengan menggunakan persamaan (3.1). Terlihat gambar diatas bahwa distribusi warna ungu pada gambar *baseline* dan *after* tampak ada perbedaan. Untuk jumlah pixel yang ada gambar *baseline* adalah 10261 sedangkan untuk citra *after* adalah 9618. Menunjukkan bahwa ada pengurangan jumlah pixel pada temperatur $34,6^{\circ}\text{C}$.

Untuk fenomena pengurangan jumlah pixel ini, seperti yang telah dijelaskan diatas, bahwa ada perubahan temperatur pada wajah di beberapa titik tertentu. Semisal titik (x,y) yang awalnya adalah 35°C dengan adanya aktifitas berubah menjadi $35,2^{\circ}\text{C}$.

Banyak faktor yang mempengaruhi distribusi temperatur yang berbeda-beda tiap orang dalam melakukan aktifitas, salah satunya adalah faktor fisiologis manusia itu sendiri. Dari hasil pengolahan citra, setelah dilakukan histogram equalization didapat hasil kecenderungan kenaikan temperatur pada wajah objek setelah melakukan aktifitas *jogging*. Untuk hasil yang diperoleh memang

tidak semuanya mengalami kenaikan temperatur. Namun menurut referensi, kenaikan temperatur diakibatkan saat aktifitas fisik otot akan bergerak dan butuh energi, sehingga energi dalam tubuh akan terus digunakan, dan selama beraktifitas tubuh akan terus butuh energi, tubuh akan terus memproduksi energi dari oksigen, asupan makanan, dan ATP. Kelebihan energi kalor akan meningkatkan temperatur.

Kemudian tidak semua hasil data mengalami kenaikan temperatur, ada juga yang mengalami penurunan. Saat tubuh mengalami kenaikan temperatur yang berlebih, sensor temperatur dalam tubuh yaitu hypothalamus mengatur tubuh untuk menurunkan suhu tubuh melalui *respiration* (pernapasan) dan *perspiration* (berkeringat). Pada saat menghembuskan nafas, akan membawa udara panas, dan juga pada saat berkeringat juga membawa panas melalui uap, maka keringat dapat menurunkan suhu tubuh. Maka dari hasil data yang mengalami penurunan adalah pengaruh keringat yang dihasilkan berlebih.

LAMPIRAN A

Source Code Distribusi Energi Radiasi Benda Hitam

```

%-----Black Body Radiation-----%
clc;
close all;
clear all;
%-----%
c=3*10^8; % speed of light in vaccum
h=6.625*10.^-34; % Planck constant
k=1.38*10.^-23; % Boltzmann constant
T=[ 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311
312 313 314 ]; % Temperatures in Kelvin
Lam=(2.0:0.1:20).*10^-6;

figure(1)
for i=1:14

%-----Planks Law-----%
I2(:,i)=(2*h*c*c)./( (Lam.^5) .* (exp((h.*c) ./ (k.*T
(i).*Lam))-1));
%-----%

plot(Lam,I2(:,i),'r','linewidth',2)

text(.92e-5,1.25e7,'T=314 K','fontSize',14)
text(.9e-5,.98e7,'T=301 K','fontSize',14)

xlabel('\lambda meter','fontsize',14)
ylabel('Intensity','fontsize',14)
title('Blackbody Radiation Planck
Law','fontSize',14)

fh = figure(1);
set(fh, 'color', 'white');
end

```

LAMPIRAN B
Source Code Pseudocoloring

```

clc
y= rgb2gray (imread('sally baseline.jpg'));
imshow(y), title('kiri');

[p,q,r]=size(y);
for i=1:1:p
    for j=1:1:q
        if (y(i,j)>= 0) && (y(i,j)< 1)
            x(i,j,1)=0;
            x(i,j,2)=0;
            x(i,j,3)=0;
        elseif (y(i,j)> 2) && (y(i,j)< 8)
            x(i,j,1)=0;
            x(i,j,2)=0;
            x(i,j,3)=112;
        elseif (y(i,j)>= 8) && (y(i,j)< 16)
            x(i,j,1)=0;
            x(i,j,2)=0;
            x(i,j,3)=153;
        elseif (y(i,j)>= 16) && (y(i,j)< 25)
            x(i,j,1)=0;
            x(i,j,2)=0;
            x(i,j,3)=204;
        elseif (y(i,j)>= 25) && (y(i,j)< 34)
            x(i,j,1)=0;
            x(i,j,2)=0;
            x(i,j,3)=255;
        elseif (y(i,j)>= 34) && (y(i,j)< 43)
            x(i,j,1)=51;
            x(i,j,2)=51;
            x(i,j,3)=255;
        elseif (y(i,j)>= 43) && (y(i,j)< 52)
            x(i,j,1)=0;
            x(i,j,2)=128;
            x(i,j,3)=255;
        elseif (y(i,j)>= 52) && (y(i,j)< 61)
            x(i,j,1)=51;

```

```
        x(i,j,2)=153;
        x(i,j,3)=255;
elseif (y(i,j)>= 61) && (y(i,j)< 70)
        x(i,j,1)=51;
        x(i,j,2)=255;
        x(i,j,3)=255;
elseif (y(i,j)>= 70) && (y(i,j)< 79)
        x(i,j,1)=102;
        x(i,j,2)=255;
        x(i,j,3)=255;
elseif (y(i,j)>= 79) && (y(i,j)< 88)
        x(i,j,1)=153;
        x(i,j,2)=255;
        x(i,j,3)=255;
elseif (y(i,j)>= 88) && (y(i,j)< 97)
        x(i,j,1)=153;
        x(i,j,2)=255;
        x(i,j,3)=204;
elseif (y(i,j)>= 97) && (y(i,j)< 106)
        x(i,j,1)=102;
        x(i,j,2)=255;
        x(i,j,3)=178;
elseif (y(i,j)>= 106) && (y(i,j)< 115)
        x(i,j,1)=51;
        x(i,j,2)=255;
        x(i,j,3)=153;
elseif (y(i,j)>= 115) && (y(i,j)< 124)
        x(i,j,1)=51;
        x(i,j,2)=255;
        x(i,j,3)=51;
elseif (y(i,j)>= 124) && (y(i,j)< 133)
        x(i,j,1)=102;
        x(i,j,2)=255;
        x(i,j,3)=102;
elseif (y(i,j)>= 133) && (y(i,j)< 142)
        x(i,j,1)=153;
        x(i,j,2)=255;
        x(i,j,3)=153;
elseif (y(i,j)>= 142) && (y(i,j)< 151)
        x(i,j,1)=204;
        x(i,j,2)=255;
```

```
        x(i,j,3)=153;
elseif (y(i,j)>= 151) && (y(i,j) < 160)
    x(i,j,1)=178;
    x(i,j,2)=255;
    x(i,j,3)=102;
elseif (y(i,j)>= 160) && (y(i,j) < 169)
    x(i,j,1)=153;
    x(i,j,2)=255;
    x(i,j,3)=51;
elseif (y(i,j)>= 169) && (y(i,j) < 178)
    x(i,j,1)=255;
    x(i,j,2)=255;
    x(i,j,3)=51;
elseif (y(i,j)>= 178) && (y(i,j) < 187)
    x(i,j,1)=195;
    x(i,j,2)=0;
    x(i,j,3)=255;
elseif (y(i,j)>= 187) && (y(i,j) < 196)
    x(i,j,1)=255;
    x(i,j,2)=255;
    x(i,j,3)=153;
elseif (y(i,j)>= 196) && (y(i,j) < 205)
    x(i,j,1)=255;
    x(i,j,2)=204;
    x(i,j,3)=153;
elseif (y(i,j)>= 205) && (y(i,j) < 214)
    x(i,j,1)=255;
    x(i,j,2)=178;
    x(i,j,3)=102;
elseif (y(i,j)>= 214) && (y(i,j) < 223)
    x(i,j,1)=255;
    x(i,j,2)=102;
    x(i,j,3)=102;
elseif (y(i,j)>= 223) && (y(i,j) < 232)
    x(i,j,1)=255;
    x(i,j,2)=51;
    x(i,j,3)=51;
elseif (y(i,j)>= 232) && (y(i,j) < 240)
    x(i,j,1)=255;
    x(i,j,2)=0;
    x(i,j,3)=0;
```

```
elseif (y(i,j)>= 240) && (y(i,j)< 248)
    x(i,j,1)=204;
    x(i,j,2)=0;
    x(i,j,3)=0;
elseif (y(i,j)>= 248) && (y(i,j)< 255)
    x(i,j,1)=153;
    x(i,j,2)=0;
    x(i,j,3)=0;
end
end
end

x=x/255;
imshow(x); title('sally after')
G= imhist(y);
figure, bar (G);
```


LAMPIRAN C

Cropping Region Of Interest

```
%-----Region Mata-----%
```

```
clc
clear
% membaca image
image = imread('audre after.jpg');

% cropping gambar pada posisi x dan y tertentu
crop = image(100:200,50:250,:);
%figure(2)

y= rgb2gray (crop);
imshow(y), title('mata');
```

```
%-----Region Hidung-----%
```

```
clc
clear
% membaca image
image = imread('audre after.jpg');

% cropping gambar pada posisi x dan y tertentu
crop = image(100:200,50:250,:);
%figure(2)

y= rgb2gray (crop);
imshow(y), title('mata');
```

```
%-----Region Pipi-----%
```

```
clc
clear
% membaca image
```

```
image = imread('audre after.jpg');

% cropping gambar pada posisi x dan y tertentu
crop = image(100:200,50:250,:);
%figure(2)

y= rgb2gray (crop);
imshow(y), title('mata');

%-----Region Dagu-----%

clc
clear
% membaca image
image = imread('audre after.jpg');

% cropping gambar pada posisi x dan y tertentu
crop = image(100:200,50:250,:);
%figure(2)

y= rgb2gray (crop);
imshow(y), title('mata');
```

LAMPIRAN D
Jumlah Pixel Citra After dan Baseline Naracoba A

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba A	
	°C			baseline	after
1	28,5	0 - 7	0, 0, 112	1347	820
2	28,6				
3	28,7				
4	28,8	8-15	0, 0, 153	333	538
5	28,9				
6	29				
7	29,1	16-24	0, 0, 204	184	190
8	29,2				
9	29,3				
10	29,4	25-33	0, 0, 255	122	144
11	29,5				
12	29,6				
13	29,7	34-42	51, 51, 255	123	111
14	29,8				
15	29,9				
16	30	43-51	0, 128, 255	116	211
17	30,1				
18	30,2				
19	30,3	52-60	51, 153, 255	198	310
20	30,4				
21	30,5				
22	30,6	61-69	51, 255, 255	299	236
23	30,7				
24	30,8				

Lanjutan

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba A	
	°C			baseline	after
25	30,9	70-78	102, 255, 255	603	278
26	31				
27	31,1				
28	31,2	79-87	153, 255, 255	1504	309
29	31,3				
30	31,4				
31	31,5	88-96	153, 255, 204	2270	458
32	31,6				
33	31,7				
34	31,8	97-105	102, 255, 178	3559	737
35	31,9				
36	32				
37	32,1	106-114	51, 255, 153	4124	2311
38	32,2				
39	32,3				
40	32,4	115-123	51, 255, 51	5026	2528
41	32,5				
42	32,6				
43	32,7	124-132	102, 255, 102	6677	2565
44	32,8				
45	32,9				
46	33	133-141	153, 255, 153	6059	2972
47	33,1				
48	33,2				

Lanjutan

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba A	
	°C			baseline	after
49	33,3	142- 150	204, 255, 153	5852	3459
50	33,4				
51	33,5				
52	33,6	151- 159	178, 255, 102	4927	3795
53	33,7				
54	33,8				
55	33,9	160- 168	153, 255, 51	4402	5462
56	34				
57	34,1				
58	34,2	169- 177	255, 255, 51	4079	6278
59	34,3				
60	34,4				
61	34,5	178- 186	255, 255, 102	2581	7437
62	34,6				
63	34,7				
64	34,8	187- 195	255, 255, 153	1524	6427
65	34,9				
66	35				
67	35,1	196- 204	255, 204, 153	1066	4542
68	35,2				
69	35,3				
70	35,4	205- 213	255, 178, 102	621	3114
71	35,5				
72	35,6				

Lanjutan

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba A	
	°C			baseline	after
73	35,7	214-222	255, 102, 102	309	2456
74	35,8				
75	35,9				
76	36	223-231	255, 51, 51	103	1657
77	36,1				
78	36,2				
79	36,3	232-239	255, 0, 0	25	1049
80	36,4				
81	36,5				
82	36,6	240-247	204, 0, 0	0	57
83	36,7				
84	36,8				
85	36,9	248-255	153, 0, 0	0	0
86	37				
87	37,1				
Temperatur Rata-Rata (Celcius)				33,34	33,4
Jumlah Pixel				19637	42274
Kenaikan Jumlah Pixel				53%	

Jumlah Pixel Citra After dan Baseline Naracoba B

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba B	
	°C			baseline	after
1	28,5	0 - 7	0, 0, 112	1176	1179
2	28,6				
3	28,7				
4	28,8	8-15	0, 0, 153	209	194
5	28,9				
6	29				
7	29,1	16-24	0, 0, 204	129	114
8	29,2				
9	29,3				
10	29,4	25-33	0, 0, 255	97	92
11	29,5				
12	29,6				
13	29,7	34-42	51, 51, 255	79	79
14	29,8				
15	29,9				
16	30	43-51	0, 128, 255	88	71
17	30,1				
18	30,2				
19	30,3	52-60	51, 153, 255	96	89
20	30,4				
21	30,5				
22	30,6	61-69	51, 255, 255	89	81
23	30,7				
24	30,8				

Lanjutan

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba B	
	°C			baseline	after
25	30,9	70-78	102, 255, 255	77	70
26	31				
27	31,1				
28	31,2	79-87	153, 255, 255	415	191
29	31,3				
30	31,4				
31	31,5	88-96	153, 255, 204	587	508
32	31,6				
33	31,7				
34	31,8	97-105	102, 255, 178	907	1081
35	31,9				
36	32				
37	32,1	106-114	51, 255, 153	906	1412
38	32,2				
39	32,3				
40	32,4	115-123	51, 255, 51	1089	1175
41	32,5				
42	32,6				
43	32,7	124-132	102, 255, 102	2001	1210
44	32,8				
45	32,9				
46	33	133-141	153, 255, 153	2842	2045
47	33,1				
48	33,2				

Lanjutan

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba B	
	°C			baseline	after
49	33,3	142-150	204, 255, 153	3934	3474
50	33,4				
51	33,5				
52	33,6	151-159	178, 255, 102	5030	6118
53	33,7				
54	33,8				
55	33,9	160-168	153, 255, 51	6891	8544
56	34				
57	34,1				
58	34,2	169-177	255, 255, 51	10261	9618
59	34,3				
60	34,4				
61	34,5	178-186	255, 255, 102	13435	9288
62	34,6				
63	34,7				
64	34,8	187-195	255, 255, 153	6405	6219
65	34,9				
66	35				
67	35,1	196-204	255, 204, 153	2913	3030
68	35,2				
69	35,3				
70	35,4	205-213	255, 178, 102	1003	1830
71	35,5				
72	35,6				

Lanjutan

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba B	
	°C			baseline	after
73	35,7	214-222	255, 102, 102	292	1353
74	35,8				
75	35,9				
76	36	223-231	255, 51, 51	0	685
77	36,1				
78	36,2				
79	36,3	232-239	255, 0, 0	0	193
80	36,4				
81	36,5				
82	36,6	240-247	204, 0, 0	0	0
83	36,7				
84	36,8				
85	36,9	248-255	153, 0, 0	0	0
86	37				
87	37,1				
Temperatur Rata-Rata (Celcius)				33,34	33,36
Jumlah Pixel				46230	46878
Kenaikan Jumlah Pixel				1,30%	

Jumlah Pixel Citra After dan Baseline Naracoba C

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba C	
	°C			baseline	after
1	28,5	0 - 7	0, 0, 112	1567	1208
2	28,6				
3	28,7				
4	28,8	8-15	0, 0, 153	311	304
5	28,9				
6	29				
7	29,1	16-24	0, 0, 204	234	203
8	29,2				
9	29,3				
10	29,4	25-33	0, 0, 255	183	234
11	29,5				
12	29,6				
13	29,7	34-42	51, 51, 255	197	208
14	29,8				
15	29,9				
16	30	43-51	0, 128, 255	220	231
17	30,1				
18	30,2				
19	30,3	52-60	51, 153, 255	208	597
20	30,4				
21	30,5				
22	30,6	61-69	51, 255, 255	423	808
23	30,7				
24	30,8				

Lanjutan

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba C	
	°C			baseline	after
25	30,9	70-78	102, 255, 255	533	717
26	31				
27	31,1				
28	31,2	79-87	153, 255, 255	628	680
29	31,3				
30	31,4				
31	31,5	88-96	153, 255, 204	809	860
32	31,6				
33	31,7				
34	31,8	97-105	102, 255, 178	1482	931
35	31,9				
36	32				
37	32,1	106-114	51, 255, 153	2468	1825
38	32,2				
39	32,3				
40	32,4	115-123	51, 255, 51	3474	3041
41	32,5				
42	32,6				
43	32,7	124-132	102, 255, 102	4571	3772
44	32,8				
45	32,9				
46	33	133-141	153, 255, 153	5604	4819
47	33,1				
48	33,2				

Lanjutan

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba C	
	°C			baseline	after
49	33,3	142-150	204, 255, 153	4596	7399
50	33,4				
51	33,5				
52	33,6	151-159	178, 255, 102	4652	6823
53	33,7				
54	33,8				
55	33,9	160-168	153, 255, 51	5468	6362
56	34				
57	34,1				
58	34,2	169-177	255, 255, 51	5533	6419
59	34,3				
60	34,4				
61	34,5	178-186	255, 255, 102	5346	5523
62	34,6				
63	34,7				
64	34,8	187-195	255, 255, 153	4241	2331
65	34,9				
66	35				
67	35,1	196-204	255, 204, 153	3017	1991
68	35,2				
69	35,3				
70	35,4	205-213	255, 178, 102	1760	1665
71	35,5				
72	35,6				

Lanjutan

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba C	
	°C			baseline	after
73	35,7	214-222	255, 102, 102	1341	926
74	35,8				
75	35,9				
76	36	223-231	255, 51, 51	667	781
77	36,1				
78	36,2				
79	36,3	232-239	255, 0, 0	290	213
80	36,4				
81	36,5				
82	36,6	240-247	204, 0, 0	71	56
83	36,7				
84	36,8				
85	36,9	248-255	153, 0, 0	0	0
86	37				
87	37,1				
Temperatur Rata-Rata (Celcius)				33,91	33,95
Jumlah Pixel				32386	33090
Kenaikan Jumlah Pixel				2,13%	

Jumlah Pixel Citra After dan Baseline Naracoba D

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba D	
	°C			baseline	after
1	28,5	0 - 7	0, 0, 112	1193	1410
2	28,6				
3	28,7				
4	28,8	8-15	0, 0, 153	326	319
5	28,9				
6	29				
7	29,1	16-24	0, 0, 204	200	188
8	29,2				
9	29,3				
10	29,4	25-33	0, 0, 255	168	579
11	29,5				
12	29,6				
13	29,7	34-42	51, 51, 255	702	499
14	29,8				
15	29,9				
16	30	43-51	0, 128, 255	482	362
17	30,1				
18	30,2				
19	30,3	52-60	51, 153, 255	341	323
20	30,4				
21	30,5				
22	30,6	61-69	51, 255, 255	387	370
23	30,7				
24	30,8				

Lanjutan

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba D	
	°C			baseline	after
25	30,9	70-78	102, 255, 255	491	430
26	31				
27	31,1				
28	31,2	79-87	153, 255, 255	873	484
29	31,3				
30	31,4				
31	31,5	88-96	153, 255, 204	878	545
32	31,6				
33	31,7				
34	31,8	97-105	102, 255, 178	952	702
35	31,9				
36	32				
37	32,1	106-114	51, 255, 153	1003	965
38	32,2				
39	32,3				
40	32,4	115-123	51, 255, 51	1385	1482
41	32,5				
42	32,6				
43	32,7	124-132	102, 255, 102	2341	2071
44	32,8				
45	32,9				
46	33	133-141	153, 255, 153	3058	3233
47	33,1				
48	33,2				

Lanjutan

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba D	
	°C			baseline	after
49	33,3	142-150	204, 255, 153	4866	5258
50	33,4				
51	33,5				
52	33,6	151-159	178, 255, 102	5121	6403
53	33,7				
54	33,8				
55	33,9	160-168	153, 255, 51	6610	6509
56	34				
57	34,1				
58	34,2	169-177	255, 255, 51	6862	6770
59	34,3				
60	34,4				
61	34,5	178-186	255, 255, 102	5830	6550
62	34,6				
63	34,7				
64	34,8	187-195	255, 255, 153	6864	6002
65	34,9				
66	35				
67	35,1	196-204	255, 204, 153	5943	4938
68	35,2				
69	35,3				
70	35,4	205-213	255, 178, 102	2779	2870
71	35,5				
72	35,6				

Lanjutan

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba D	
	°C			baseline	after
73	35,7	214-222	255, 102, 102	631	1339
74	35,8				
75	35,9				
76	36	223-231	255, 51, 51	363	362
77	36,1				
78	36,2				
79	36,3	232-239	255, 0, 0	187	163
80	36,4				
81	36,5				
82	36,6	240-247	204, 0, 0	22	28
83	36,7				
84	36,8				
85	36,9	248-255	153, 0, 0	0	0
86	37				
87	37,1				
Temperatur Rata-Rata (Celcius)				34,26	34,31
Jumlah Pixel				41212	41934
Kenaikan Jumlah Pixel				1,72%	

Jumlah Pixel Citra After dan Baseline Naracoba E

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba E	
	°C			baseline	after
1	28,5	0 - 7	0, 0, 112	1557	1237
2	28,6				
3	28,7				
4	28,8	8-15	0, 0, 153	729	911
5	28,9				
6	29				
7	29,1	16-24	0, 0, 204	431	504
8	29,2				
9	29,3				
10	29,4	25-33	0, 0, 255	312	330
11	29,5				
12	29,6				
13	29,7	34-42	51, 51, 255	285	307
14	29,8				
15	29,9				
16	30	43-51	0, 128, 255	268	264
17	30,1				
18	30,2				
19	30,3	52-60	51, 153, 255	265	281
20	30,4				
21	30,5				
22	30,6	61-69	51, 255, 255	289	280
23	30,7				
24	30,8				

Lanjutan

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba E	
	°C			baseline	after
25	30,9	70-78	102, 255, 255	366	320
26	31				
27	31,1				
28	31,2	79-87	153, 255, 255	443	395
29	31,3				
30	31,4				
31	31,5	88-96	153, 255, 204	532	467
32	31,6				
33	31,7				
34	31,8	97-105	102, 255, 178	547	611
35	31,9				
36	32				
37	32,1	106-114	51, 255, 153	691	1016
38	32,2				
39	32,3				
40	32,4	115-123	51, 255, 51	771	1242
41	32,5				
42	32,6				
43	32,7	124-132	102, 255, 102	878	1587
44	32,8				
45	32,9				
46	33	133-141	153, 255, 153	1562	1889
47	33,1				
48	33,2				

Lanjutan

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba E	
	°C			baseline	after
49	33,3	142-150	204, 255, 153	2523	3329
50	33,4				
51	33,5				
52	33,6	151-159	178, 255, 102	4209	4475
53	33,7				
54	33,8				
55	33,9	160-168	153, 255, 51	4731	5791
56	34				
57	34,1				
58	34,2	169-177	255, 255, 51	4879	7191
59	34,3				
60	34,4				
61	34,5	178-186	255, 255, 102	6416	8102
62	34,6				
63	34,7				
64	34,8	187-195	255, 255, 153	7889	8038
65	34,9				
66	35				
67	35,1	196-204	255, 204, 153	10243	5270
68	35,2				
69	35,3				
70	35,4	205-213	255, 178, 102	6615	3075
71	35,5				
72	35,6				

Lanjutan

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba E	
	°C			baseline	after
73	35,7	214-222	255, 102, 102	3281	1854
74	35,8				
75	35,9				
76	36	223-231	255, 51, 51	424	1414
77	36,1				
78	36,2				
79	36,3	232-239	255, 0, 0	188	738
80	36,4				
81	36,5				
82	36,6	240-247	204, 0, 0	0	132
83	36,7				
84	36,8				
85	36,9	248-255	153, 0, 0	0	0
86	37				
87	37,1				
Temperatur Rata-Rata (Celcius)				34,54	34,74
Jumlah Pixel				46080	48875
Kenaikan Jumlah Pixel				5,72%	

Jumlah Pixel Citra After dan Baseline Naracoba F

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba F	
	°C			baseline	after
1	28,5	0 - 7	0, 0, 112	1387	1186
2	28,6				
3	28,7				
4	28,8	8-15	0, 0, 153	317	300
5	28,9				
6	29				
7	29,1	16-24	0, 0, 204	217	215
8	29,2				
9	29,3				
10	29,4	25-33	0, 0, 255	188	181
11	29,5				
12	29,6				
13	29,7	34-42	51, 51, 255	148	168
14	29,8				
15	29,9				
16	30	43-51	0, 128, 255	186	155
17	30,1				
18	30,2				
19	30,3	52-60	51, 153, 255	190	184
20	30,4				
21	30,5				
22	30,6	61-69	51, 255, 255	198	222
23	30,7				
24	30,8				

Lanjutan

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba F	
	°C			baseline	after
25	30,9	70-78	102, 255, 255	332	508
26	31				
27	31,1				
28	31,2	79-87	153, 255, 255	568	637
29	31,3				
30	31,4				
31	31,5	88-96	153, 255, 204	681	700
32	31,6				
33	31,7				
34	31,8	97-105	102, 255, 178	973	780
35	31,9				
36	32				
37	32,1	106-114	51, 255, 153	1393	1095
38	32,2				
39	32,3				
40	32,4	115-123	51, 255, 51	1857	1756
41	32,5				
42	32,6				
43	32,7	124-132	102, 255, 102	3393	3351
44	32,8				
45	32,9				
46	33	133-141	153, 255, 153	2887	4518
47	33,1				
48	33,2				

Lanjutan

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba F	
	°C			baseline	after
49	33,3	142-150	204, 255, 153	3042	5412
50	33,4				
51	33,5				
52	33,6	151-159	178, 255, 102	4286	6004
53	33,7				
54	33,8				
55	33,9	160-168	153, 255, 51	6787	6869
56	34				
57	34,1				
58	34,2	169-177	255, 255, 51	9024	6552
59	34,3				
60	34,4				
61	34,5	178-186	255, 255, 102	6911	7216
62	34,6				
63	34,7				
64	34,8	187-195	255, 255, 153	6205	4806
65	34,9				
66	35				
67	35,1	196-204	255, 204, 153	4198	3044
68	35,2				
69	35,3				
70	35,4	205-213	255, 178, 102	2127	1956
71	35,5				
72	35,6				

Lanjutan

No	T	GS Number	RGB Color Map	Naracoba F	
	°C			baseline	after
73	35,7	214-222	255, 102, 102	1172	1418
74	35,8				
75	35,9				
76	36	223-231	255, 51, 51	1218	960
77	36,1				
78	36,2				
79	36,3	232-239	255, 0, 0	643	666
80	36,4				
81	36,5				
82	36,6	240-247	204, 0, 0	36	106
83	36,7				
84	36,8				
85	36,9	248-255	153, 0, 0	0	0
86	37				
87	37,1				
Temperatur Rata-Rata (Celcius)				34,22	34,31
Jumlah Pixel				39597	42607
Kenaikan Jumlah Pixel				7,06%	

LAMPIRANE
PERUBAHAN TEMPERATUR RATA-RATA FUNGSI WAKTU

Region	Koordinat	Rata-rata Temperatur (Celcius) pada Menit ke-										Average	Min	Max	Selisih Min-Max
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
mata kiri	105-140	35,5	35,4	35,4	35,6	35,5	35,5	35,5	35,6	35,7	35,7	35,5	35,37	35,73	0,37
mata kanan	170-140	35,2	35,2	35,1	35,2	35,4	35,5	35,2	35,2	35,2	35,4	35,3	35,10	35,50	0,40
hidung	135-200	33,9	33,8	33,8	33,7	33,6	33,9	33,9	34,4	34,4	34,5	34,0	33,60	34,50	0,90
pipi kanan	215-200	34,3	34,2	34,2	34,2	34,5	34,4	34,4	34,6	34,4	34,5	34,4	34,17	34,60	0,43
pipi kiri	70-200	34,4	34,9	34,9	34,5	34,7	34,7	34,8	34,8	34,8	34,9	34,7	34,37	34,93	0,57
dahi	140-100	34,8	34,9	34,8	34,9	34,9	35,0	35,1	35,0	35,0	35,1	35,0	34,80	35,10	0,30
dagu	145-300	34,6	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	34,9	34,9	35,3	35,1	35,0	34,63	35,27	0,63

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Telah dilakukan analisis thermal signature dari wajah manusia pada saat aktifitas jogging dengan thermografi inframerah. Berdasarkan hasil pengujian, analisa, dan pembahasan yang telah dilakukan, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah:

- Untuk Thermal Signature, setiap objek terutama manusia memiliki masing-masing signature yang berbeda dipengaruhi oleh energi inframerah yang diradiasikan oleh objek, temperatur lingkungan, dan emisivitas.
- Dari hasil analisis distribusi temperatur antara kondisi baseline dan setelah aktifitas jogging didapatkan bahwa dari beberapa naracoba, naracoba A dengan distribusi perubahan suhu 53% dan selisih suhu rata-rata wajah kondisi baseline dan setelah jogging sebesar 0,06 °C. Naracoba B dengan distribusi perubahan suhu 1,3% dan selisih suhu rata-rata wajah kondisi baseline dan setelah jogging sebesar 0,02 °C. Naracoba C dengan distribusi perubahan suhu 2,13% dan selisih suhu rata-rata wajah kondisi baseline dan setelah jogging sebesar 0,04 °C. Naracoba D dengan distribusi perubahan suhu 1,72% dan selisih suhu rata-rata wajah kondisi baseline dan setelah jogging sebesar 0,05 °C. Naracoba E dengan distribusi perubahan suhu 5,72% dan selisih suhu rata-rata wajah kondisi baseline dan setelah jogging sebesar 0,2 °C. Naracoba F dengan distribusi perubahan suhu 7,06% dan selisih suhu rata-rata wajah kondisi baseline dan setelah jogging sebesar 0,09 °C.
- Berdasarkan hubungan perubahan temperatur terhadap waktu, dari tujuh koordinat pengukuran, untuk selisih temperatur maksimum minimum paling tinggi dalam sepuluh menit adalah pada region hidung, sebesar 0,9°C. Kemudian untuk mata kanan dan kiri, pipi kanan adalah 0,4 °C, untuk pipi kiri 0,5 °C, dagu 0,7 °C, dan dahi dengan 0,3 °C Ini masih dalam

- batas ambang yang normal, yaitu perubahan temperatur masih dibawah 1 °C.
- Untuk distribusi temperatur yang berbeda-beda tiap objek, banyak faktor yang mempengaruhinya, salah satunya adalah faktor fisiologis manusia itu sendiri. Seperti pengaruh produksi keringat, dimana keringat adalah salah satu regulasi untuk menjaga temperatur tubuh tetap stabil. Dan pada saat berkeringat, suhu tubuh menurun karena keringat menguap membawa panas.
- Untuk validasi pengolahan citra thermal imaging dibandingkan dengan hasil pengukuran thermometer infrared didapatkan hasil selisih temperatur antar masing-masing region pengukuran didapatkan hasil error yaitu 3,23% error minimal dan 9,09% error maksimalnya.

5.2. Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, saran yang harus disampaikan dari tugas akhir ini adalah penelitian bisa dilanjutkan dengan menambah variasi aktifitas fisik yang lain, agar bisa mendapatkan parameter pembandingan antara aktifitas satu dengan yang lain. Kemudian untuk variasi usia objek yang lebih heterogen juga bisa dijadikan elemen pembandingan, seperti anak-anak, remaja, dewasa, tua. Sebagai data validasi perlu juga dilakukan pengukuran parameter lain, sebagai acuan seperti tegangan stress dengan menggunakan stressmeter atau bisa juga dibandingkan dengan pengaruh aktifitas fisik terhadap detak jantung atau tekanan darah. Dan juga mungkin bisa ditambahkan analisis untuk bagian tubuh manusia yang lain, seperti kaki, tangan, atau badan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhowmik, Mrinal Kanti, et al. "Thermal infrared face recognition—a biometric identification technique for robust security system." *Reviews, Refinements and New Ideas in Face Recognition* (2011): 113-138.
- Chiarugi, Franco, Giorgos Giannakakis, and Matthew Pediaditis "Methods for face expression analysis and psycho-physical status evaluation" In-depth analysis of state-of-the-art for facial expression analysis. Seventh Framework Programme. 2014
- Cyr, Brenda "What Effect Does Exercise Have on Your Body Temperature?" 2004 diakses pada 2 Mei 2016
<URL: <http://www.livestrong.com>>
- Daniels, Arnold. Field Guide to Infrared System. "Infrared System Design" Performance Parameters for Optical Detectors. SPIE Press Book. 1-2. (2006)
- Emery, Keith; MYERS, D. Reference solar spectral irradiance: air mass 1.5. *Center, RERD, Ed*, 2009.
- Finkenthal, Daniel. "Introduction to The Electromagnetic Spectrum" General Atomics. 1996.
- Hong, Kang et al "Detection and classification of stress using thermal imaging technique" Optics and Photonics for Counterterrorism and Crime Fighting V. Proc of SPIE Vol. 7486. 2009.
- Han, Myung-Soo, et al. "Low-cost Compact Thermal Imaging Sensors for Body Temperature Measurement" Proc. of SPIE Vol. 8704. 2013.
- Langley, S. P., "The bolometer," in Valleggheny Observatory, The Society Gregory, New York, NY, USA, 1880.
- Loudon, R. (2000) [1973]. *The Quantum Theory of Light (third ed)*. Cambridge University Press. ISBN 0-19-850177-3.
- Nalin, Peter, "Causes Fever". Indiana University. 2005 diakses pada 2 Mei 2016 di
<URL: <http://scientificamerican.com>>

- Nurhayati, Titik, dkk. "Identifikasi Kanker Payudara Dengan Thermal", Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi. 2010.
- Olesen, Bjarne W. Thermal comfort. *Technical review*, 1982, 2: 3-37
- Planck, M. "The theory of heat radiation, translated by M." *Masius, P. Blackiston's Son & Co, Philadelphia, reprinted by Kessinger*, 1914.
- Romanovsky, Andrej A. "Thermoregulation: some concepts have changed. Functional architecture of the thermoregulatory system." *American journal of Physiology-Regulatory, integrative and comparative Physiology* 292.1 (2007): R37-R46.
- Sumriddetchkajorn, Sarun, et al "A Non-Invasive Human Temperature Screening System with Multiple Detection Points" Optical Sensors. Proc of SPIE Vol. 7003. 2008
- Tanda, Giovanni "Skin temperature measurements by infrared thermography during running exercise" *Experimental Thermal and Fluid Science, Journal Elsevier* 103-113. 2015
- Wolff, Lawrence B., Diego A. Socolinsky, Christopher K. Eveland "Using Infrared Sensor Technology for Face Recognition and Human Identification" *Infrared Technology and Applications XXIX. Proceedings of SPIE Vol. 5074*. 2003

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Putria Widya Budiarti, lahir di Surabaya, 14 Oktober 1995. Riwayat pendidikan formal penulis dimulai dari SD Negeri Perak Barat 1 Surabaya tahun 2001 hingga 2006, dilanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 3 Surabaya dan lulus pada tahun 2009 kemudian melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 5 Surabaya hingga tahun 2012. Selepas lulus penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi di Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pada saat berstatus mahasiswa penulis aktif sebagai staf departemen Riset dan Teknologi Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika (HMTF). Penulis juga aktif sebagai asisten di Laboratorium Rekayasa Fotonika Jurusan Teknik Fisika. Selain itu penulis juga aktif di organisasi internasional berbasis optik dan fotonik, OSA ITS Student Chapter dan SPIE ITS Student Chapter. Penulis juga pernah melaksanakan kerja praktik di Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN pada tahun 2015. Melalui Penelitian ini, penulis berharap penelitian ini bermanfaat untuk penelitian selanjutnya dan berdampak positif pada perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi bagi bangsa dan negara. Penulis bisa dihubungi melalui email putriabudiarti@gmail.com.

”Halaman ini memang dikosongkan”