

**ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA PLAT  
ALUMINIUM MENGGUNAKAN PENGOLAHAN CITRA  
*INFRARED***

**SKRIPSI**

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas  
Negeri Yogyakarta untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh  
Gelar Sarjana Sains



Oleh :

Sabella Nisa Adelia Rifai  
15306141021

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA  
2020**

**ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA PLAT  
ALUMINIUM MENGGUNAKAN PENGOLAHAN CITRA  
*INFRARED***

**TUGAS AKHIR SKRIPSI**

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh :

Sabella Nisa Adelia Rifai  
15306141021

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA  
2020**

## **LEMBAR PERSETUJUAN**

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

### **ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA PLAT ALUMUNIUM MENGGUNAKAN PENGOLAHAN CITRA INFRARED**

Disusun oleh:

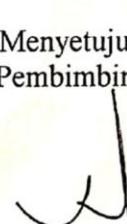
Sabella Nisa Adelia Rifai  
NIM 15306141021

telah memenuhi syarat dan disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk dilaksanakan

Ujian Akhir Tugas Skripsi bagi yang bersangkutan.

Yogyakarta, 23 Desember 2019

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Fisika  
  
Nur Kadarisman, M.Si.  
NIP 19640205 199101 1 001

Menyetujui,  
Pembimbing  
  
Agus Purwanto, M.Sc.  
NIP. 19650813 199512 1 001

## **HALAMAN PENGESAHAN**

Tugas Akhir Skripsi

### **ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA PLAT ALUMUNIUM MENGGUNAKAN PENGOLAHAN CITRA INFRARED**

Disusun oleh :

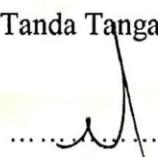
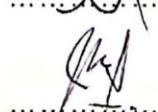
Sabella Nisa Adelia Rifai  
NIM 15306141021

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi Program Studi  
Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri

Yogyakarta

Pada tanggal 8 Januari 2020

#### **TIM PENGUJI**

Nama/Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Agus Purwanto, M.Sc. Ketua Penguji/Pembimbing	..... 	14-1-2020
Sumarna, M.Si., M.Eng. Penguji Utama	..... 	13-1-2020
Dr. Warsono, S.Pd., M.Si. Penguji Pendamping	..... 	14-1-2020

Yogyakarta, 15 Januari 2020

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Yogyakarta  
Dekan,



## **HALAMAN PERNYATAAN**

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Sabella Nisa Adelia Rifai

NIM : 15306141021

Program Studi : Fisika

Judul TAS : Analisis Perpindahan Panas pada Plat Alumunium  
Menggunakan Pengolahan Citra *Infrared*

Menyatakan bahwa skripsi ini benar – benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Yogyakarta, 23 Desember 2019

Yang menyatakan,



Sabella Nisa Adelia Rifai  
NIM. 15306141021

***MOTTO***

*Santai dan Nggarap*

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Skripsi ini saya persembahkan untuk

Saya sendiri yang sudah berjuang keras untuk tetap santuy

Segenap keluarga Rifai (Ayah, Ibu, Affan, Gibran) dan sanak sodara yang selalu  
bertanya kapan saya lulus

Teman – teman UKM Rekayasa Teknologi yang juga bertanya kapan saya lulus

Teman – teman Fisika angkatan 2015 yang juga bertanya kapan saya lulus

Indah Mulia sobat “lu-gua”

Mbak Tyas yang sudah bertahan berkomunikasi dengan saya hingga saat ini  
Yasinta, Naja, Faizal, Asaha, pertemanan GoFood

Teman – teman KKN 283 Dusun Windusajan, Wonolelo, Sawangan, Magelang  
yang selalu menjadikan kos saya sebagai tempat singgah

Teman SMP saya Sherly Monica Sagala dan Nafisah Amri

Robi Febrianto

Yang membutuhkan

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis haturkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian dan penulisan tugas akhir skripsi berjudul “Analisis Perpindahan Panas pada Plat Alumunium Menggunakan Pengolahan Citra *Infrared*”.

Selesainya Tugas Akhir Skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil secara langsung maupun tidak langsung kepada penulis, terutama kepada yang penulis hormati :

1. Bapak Agus Purwanto, M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir Skripsi yang telah membimbing saya dalam menyelesaikan skripsi ini dan meng-*upgrade* pola pikir saya.
2. Bapak Sumarna, M.Si., M.Eng. dan Bapak Dr. Warsono, S.Pd., M.Si. selaku penguji utama dan penguji pendamping yang sudah memberikan koreksi atas Tugas Akhir Skripsi saya.
3. Bapak Toto Sukisno, M.Pd yang telah bersedia meminjamkan kamera termal sehingga penelitian ini dapat terlaksana.
4. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan Tugas Akhir Skripsi dari awal hingga akhir yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga kebaikan yang telah diberikan semua pihak mendapatkan imbalan dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir Skripsi ini memiliki banyak kekurangan. Meskipun demikian, penulis berharap pembaca dapat menemukan manfaat di dalamnya.

Yogyakarta, 23 Desember 2019

Penulis

## **ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA PLAT ALUMUNIUM MENGGUNAKAN PENGOLAHAN CITRA INFRARED**

Oleh :

Sabella Nisa Adelia Rifai  
NIM. 15306141021

### **ABSTRAK**

Penelitian mengenai analisis perpindahan panas ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana perubahan suhu yang terjadi akibat peristiwa perpindahan panas pada plat alumunium di titik – titik tertentu selama proses pemanasan. Selain itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui analisis perpindahan panas pada plat alumunium berdasarkan penelitian yang dilakukan.

Analisis dilakukan menggunakan *software* MATLAB untuk mengetahui pola persebaran nilai pixel pada citra inframerah yang diperoleh dari kamera termal. Salah satu indikasi terjadinya perpindahan panas ialah adanya perubahan suhu pada titik – titik objek pengamatan. Perubahan suhu di titik – titik objek pengamatan ini dapat diketahui sekaligus menggunakan kamera termal. Hasil dari analisis ini kemudian dibandingkan dengan hasil dari perhitungan numerik yang dilakukan menggunakan metode *finite difference*.

Berdasarkan penelitian dan analisis yang dilakukan, suhu mengalami perubahan terhadap posisi dan waktu. Titik yang dekat dengan sumber panas memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan suhu di titik yang jauh dari sumber panas sebagai tanda bahwa suhu berubah terhadap posisi. Di titik yang sama, suhu bertambah tinggi selama proses pemanasan yang menandakan bahwa suhu berubah terhadap waktu.

Kata kunci : Analisis perpindahan panas, nilai pixel, metode *finite difference*

# **ANALYSIS OF HEAT TRANSFER THROUGH ALUMINIUM PLATE USING INFRARED IMAGE PROCESSING**

By :

Sabella Nisa Adelia Rifai  
15306141021

## **ABSTRACT**

This research about analysis of heat transfer was aimed to know how temperature changes that occur due to heat transfer on the aluminum plates at certain points during heating process. Other than that, this research was intended to know the analysis of heat transfer on the aluminum plates based on research that has been done.

MATLAB was used to analyze infrared imagery so that the distribution of pixels value can be known. One indication of heat transfer is a change in temperature at the point of observation object. This change can be known at once using thermal camera. The result of this analysis are then compared with the result of numerical calculation using finite difference method.

Based on the research and analysis, temperature changes in position and time. Closest point to the heat source has higher temperatur than the point far from heat source as a sign that temperature changes with respect to position. At the same point, temperature get higher during heating process as a sign that temperature changes with respect to time.

Keywords : Analysis of heat transfer, pixels value, finite difference method

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iv
<i>MOTTO</i> .....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
ABSTRAK .....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Identifikasi Masalah .....	4
C. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah .....	4
E. Tujuan Penelitian.....	5
F. Manfaat Penelitian .....	5
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
A. Perpindahan Panas .....	6
B. Radiasi Inframerah .....	12
C. Metode <i>Finite Difference</i> .....	17
D. Kamera Termal FLIR TG165.....	19

<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	22
A. Tempat dan Waktu Penelitian .....	22
B. Variabel Penelitian .....	22
C. Jenis Penelitian.....	23
D. Alat dan Bahan.....	23
E. Spesifikasi Alat – alat Penelitian.....	24
F. Prosedur Penelitian .....	25
G. Teknik Analisis Data.....	27
H. Diagram Alir .....	28
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	29
A. Persebaran Nilai Pixel pada Citra Inframerah yang Diperoleh.....	29
B. Hubungan antara Nilai Pixel dan Suhu .....	41
C. Analisis Perpindahan Panas Menggunakan Metode <i>Finite Difference</i> ....	44
D. Konversi Posisi Pixek ke Posisi Sebenarnya .....	48
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	52
A. Kesimpulan .....	52
B. Saran .....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	53
<b>LAMPIRAN .....</b>	54

## **DAFTAR TABEL**

<b>Tabel 2.1</b>	Spektrum gelombang elektromagnetik .....	13
<b>Tabel 2.2</b>	Emisivitas benda .....	21

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Ilustrasi perpindahan panas pada kasus dimensi satu .....	8
<b>Gambar 2.2</b>	Penerapan hukum pertama termodinamika.....	10
<b>Gambar 2.3</b>	Spektrum gelombang elektromagnetik .....	12
<b>Gambar 2.4</b>	Energi emisivitas monokromatik dari <i>blackbody</i> dan variasi suhu menurut Hukum Planck .....	15
<b>Gambar 2.5</b>	Grafik solusi pendekatan <i>finite difference</i> .....	18
<b>Gambar 2.6</b>	Diagram alir program.....	18
<b>Gambar 2.7</b>	Kamera thermal FLIR TG165 .....	19
<b>Gambar 2.8</b>	Area pengukuran kamera thermal FLIR seri TG165 .....	20
<b>Gambar 3.1</b>	Pengondisian alat sebelum melakukan pengambilan data ...	26
<b>Gambar 3.2</b>	Diagram alir penelitian.....	28
<b>Gambar 4.1</b>	<i>Range</i> warna pada kamera thermal FLIR TG165 .....	29
<b>Gambar 4.2</b>	Hasil citra inframerah yang ditangkap kamera thermal .....	30
<b>Gambar 4.3</b>	Citra inframerah pada plat alumunium saat diberi tegangan $(8,9 \pm 0,1)$ volt selama 17 menit (a) <i>layer</i> merah (b) <i>layer</i> hijau (c) <i>layer</i> biru.....	31
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik persebaran nilai pixel pada baris ke 30, 60, 90, kolom ke 30 hingga 150 saat diberi tegangan sebesar $(8,9 \pm 0,1)$ volt selama 17 menit (a) Posisi pixel baris ke 30, 60, 90, kolom ke 30 hingga 150 pada citra inframerah (b) <i>layer</i> merah (c) <i>layer</i> hijau (d) <i>layer</i> biru .....	33
<b>Gambar 4.5</b>	Posisi pixel kolom ke 70, 80, 90, baris ke 30 hingga 90 pada citra inframerah saat diberi tegangan sebesar $(6,2 \pm 0,1)$ volt selama 19 menit .....	35

<b>Gambar 4.6</b>	Grafik persebaran nilai pixel secara vertikal pada kolom ke 70, 80, 90, baris ke 30 hingga 90 saat diberi tegangan sebesar $(6,2 \pm 0,1)$ volt (a) Menit ke 3 (b) Menit ke 10 (c) Menit ke 20 (d) Menit ke 28.....	37
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik persebaran nilai pixel secara vertikal pada kolom ke 70, 80, 90, brais ke 30 hingga 90 saat diberi tegangan sebesar $(8,9 \pm 0,1)$ volt (a) Menit ke 3 (b) Menit ke 10 (c) Menit ke 20 (d) Menit ke 28.....	38
<b>Gambar 4.8</b>	Posisi titik pada citra inframerah dengan tegangan $(8,9 \pm 0,1)$ volt di menit ke 17 .....	39
<b>Gambar 4.9</b>	Grafik perpindahan panas pada 9 titik di baris ke 35, 65, 95, kolom ke 68, 85, 105.....	40
<b>Gambar 4.10</b>	(a) citra inframerah setrika (b) grafik hubungan antara nilai pixel dan suhu .....	42
<b>Gambar 4.11</b>	Grafik perubahan suhu plat selama 30 menit pada 9 titik yang ditentukan.....	43
<b>Gambar 4.12</b>	Pengasumsian suhu plat dan jarak antar titik plat pada metode <i>finite difference</i> .....	46
<b>Gambar 4.13</b>	Grafik hubungan antara suhu dan waktu menggunakan metode <i>finite difference</i> .....	47
<b>Gambar 4.14</b>	Konversi posisi pixel ke centimeter pada 9 titik analisis persebaran pixel .....	48
<b>Gambar 4.15</b>	Grafik suhu pada posisi plat sebenarnya di menit ke 3, 10, 20 dan 28.....	50
<b>Gambar 4.16</b>	Grafik suhu di 9 titik selama proses pemanasan dengan posisi sebenarnya.....	50



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang Masalah**

Suatu benda memiliki suhunya masing – masing menyesuaikan suhu lingkungannya. Bila suhu lingkungan lebih rendah dari suhu benda, dalam jangka waktu tertentu suhu benda akan berubah menjadi lebih rendah dari suhu awal benda untuk menyesuaikan suhu lingkungannya. Begitupula saat benda dikondisikan pada suatu lingkungan yang suhunya lebih tinggi dari suhu benda. Benda akan memiliki suhu yang lebih tinggi dari suhu awalnya. Beberapa contoh di kehidupan sehari – hari ialah air yang dimasak pada sebuah panci akan semakin panas, minuman yang didinginkan di kulkas akan mengalami perubahan suhu lebih rendah dari suhu awalnya, benda yang dijemur di bawah sinar matahari akan menjadi lebih hangat dari sebelumnya, dan sebagainya. Peristiwa ini terjadi karena adanya perpindahan panas.

Berdasarkan mekanisme perpindahannya, perpindahan panas dibagi menjadi tiga yakni konduksi, konveksi dan radiasi. Konduksi adalah perpindahan panas yang disebabkan oleh interaksi antar partikel pada suatu substansi dimana panas berpindah dari sisi benda yang partikelnya bergerak aktif ke partikel yang bergerak kurang aktif. Konveksi adalah perpindahan panas antara benda padat dengan benda cair atau gas yang bergerak di sekitarnya. Mekanisme terjadinya konveksi mirip seperti konduksi namun

melibatkan aliran dari benda cair atau gas. Sedangkan radiasi adalah panas yang dipancarkan oleh suatu benda dalam bentuk gelombang elektromagnetik akibat perubahan konfigurasi elektron (Cengel, 2002 : 1).

Pada dasarnya, peristiwa perpindahan panas merupakan hal yang sering kita temui. Bila dipelajari lebih dalam, panas dapat dimanfaatkan sedemikian rupa untuk kelangsungan hidup kita, contohnya pemanfaatan panas sebagai pembangkit tenaga listrik. Jumlah panas yang ditangkap oleh alat pembangkit listrik akan mempengaruhi seberapa banyak energi listrik yang dihasilkan. Selain itu, panas juga dapat digunakan untuk mengurangi kadar air yang terdapat pada suatu benda melalui proses penjemuran atau pemanasan. Dengan mempelajari bagaimana perpindahan panas terjadi pada benda, dapat diketahui berapa lama benda harus dijemur atau dipanaskan untuk mencapai kadar air tertentu, berapa jumlah panas yang dibutuhkan selama melakukan pemanasan untuk meminimalisir perubahan bentuk pada benda, bagaimana cara yang efektif untuk memanaskan benda, dan sebagainya. Setelah mengetahui hal – hal tersebut, dapat dilakukan pembuatan alat yang sistem kerjanya menggunakan konsep perpindahan panas.

Sebelum melakukan pembuatan alat pada skala besar, terkadang diperlukan simulasi atau *prototype* sebagai salah satu cara untuk menganalisis apakah alat akan bekerja sesuai harapan. Oleh karena itu, peneliti mencoba untuk mensimulasikan peristiwa perpindahan panas dan melakukan analisis pada proses terjadinya.

Pada saat melakukan analisis, panas dapat diukur menggunakan sensor atau alat ukur suhu. Namun tidak semua sensor atau alat ukur suhu dapat digunakan karena beberapa diantaranya harus melakukan kontak langsung terhadap objek pengamatan dan hal ini dapat mempengaruhi data yang diperoleh. Selain itu, untuk mengamati perpindahan panas yang terjadi pada objek pengamatan harus dengan mengamati banyak titik pada objek tersebut. Oleh karena itu, digunakan kamera termal untuk mengetahui suhu benda yang diukur.

Kamera termal mengukur suhu benda tanpa harus melakukan kontak secara langsung sehingga tidak mempengaruhi suhu pada benda yang diukur. Radiasi yang dipancarkan oleh benda akan ditangkap oleh sensor pada kamera termal dan ditampilkan dalam gambar berwarna sebagai distribusi suhu benda. Suhu rendah hingga suhu tinggi akan digambarkan oleh warna – warna berbeda tergantung pada karakteristik kamera termal yang digunakan. Data yang diperoleh menggunakan kamera termal merupakan data citra inframerah.

Analisis dilakukan pada proses berpindahnya panas. Untuk mempermudah dalam proses pengamatan, benda yang diamati dikondisikan berdimensi satu. Kemudian, pemilihan benda dipertimbangkan berdasarkan cepat tidaknya benda tersebut dalam menghantarkan panas, dan salah satu benda yang cepat menghantarkan panas adalah plat alumunium.

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Perpindahan panas yang terjadi pada suatu benda saat diberi panas.
2. Peristiwa perpindahan panas perlu dipelajari dan dipahami lebih dalam agar pemanfaatan panas dapat dilakukan dengan maksimal.
3. Belum pernah dilakukan penelitian mengenai perpindahan panas menggunakan citra inframerah di prodi fisika Universitas Negeri Yogyakarta.

## **C. Batasan Masalah**

1. Benda yang diamati dikondisikan seolah – olah berdimensi satu untuk mempermudah dalam mengamati dan memahami peristiwa perpindahan panas.
2. Plat alumunium digunakan karena mudah menghantarkan panas dan mudah didapatkan.
3. Analisis yang dilakukan masih pada tahap untuk mengetahui terjadinya perpindahan panas (belum pada tahap pemanfaatannya).

## **D. Rumusan Masalah**

1. Bagaimana perubahan suhu yang terjadi akibat peristiwa perpindahan panas pada plat alumunium di titik – titik tertentu selama proses pemanasan?

2. Bagaimana analisis perpindahan panas pada plat alumunium berdasarkan penelitian yang dilakukan?

#### **E. Tujuan Penelitian**

1. Mengetahui perubahan suhu yang terjadi akibat peristiwa perpindahan panas pada plat alumunium di titik – titik tertentu selama proses pemanasan.
2. Mengetahui analisis perpindahan panas pada plat alumunium berdasarkan penelitian yang dilakukan.

#### **F. Manfaat Penelitian**

Dalam pembuatan suatu alat, dibutuhkan perencanaan dan analisis yang matang. Metode dan hasil dari analisis ini kemudian dapat digunakan sebagai acuan dalam pembuatan atau modifikasi alat yang lebih efektif dan efisien pada proses yang melibatkan perpindahan panas. Selain itu, pemahaman terhadap penelitian ini juga dapat digunakan sebagai dasar untuk memahami permasalahan perpindahan panas yang lebih rumit.

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **A. Perpindahan Panas**

Konduksi merupakan perpindahan energi yang terjadi karena interaksi antar partikel pada suatu substansi. Perpindahan panas konduksi dapat terjadi melalui dua cara. Cara yang pertama disebabkan karena pergerakan molekul di bagian yang bersuhu tinggi mempengaruhi molekul – molekul di bagian yang bersuhu rendah. Cara yang kedua ialah melalui elektron – elektron bebas yang dimiliki benda tersebut. Konsentrasi elektron bebas yang dimiliki benda berbeda – beda tergantung jenis benda. Benda logam akan memiliki konsentrasi elektron bebas yang lebih tinggi dibandingkan dengan benda nonlogam (Welty et.al., 2004: 1).

Peristiwa konduksi terbagi menjadi konduksi keadaan tunak dan keadaan tak tunak. Dua keadaan konduksi ini dibedakan berdasarkan terlibatnya waktu dalam analisis perpindahan panas konduksi yang terjadi. Pada konduksi keadaan tunak atau disebut *steady state*, suhu benda dianggap tidak berubah terhadap waktu sehingga dalam analisinya tidak melibatkan waktu sebagai faktor berubahnya suhu. Meskipun demikian, pada kenyataannya, benda mengalami perubahan suhu terhadap waktu namun dalam waktu yang relatif lama dan tidak begitu signifikan. Pada konduksi keadaan tak tunak, *unsteady state* atau *transient*, waktu dilibatkan sebagai faktor perubahan suhu. Banyak kasus di kehidupan sehari – hari

yang merupakan peristiwa konduksi keadaan tak tunak. Namun, dengan tujuan dan pengandaian situasi ekstrim yang terjadi, beberapa hal dapat diabaikan, sehingga analisis yang dilakukan dapat menggunakan analisis pada kasus konduksi keadaan tunak (Welty et.al., 2004: 67)

Hal pertama yang dilakukan dalam analisis perpindahan panas konduksi ialah mengamati bentuk benda yang digunakan untuk menentukan koordinatnya. Pada koordinat kartesian, suhu berubah terhadap sumbu  $x$ ,  $y$ , dan  $z$  dari benda. Pada koordinat silinder, suhu berubah terhadap sumbu  $r$ ,  $\phi$ , dan  $z$ . Sedangkan pada koordinat polar, suhu berubah terhadap sumbu  $r$ ,  $\phi$ , dan  $\theta$ . Di beberapa kasus perpindahan panas, analisis dilakukan hanya dengan melibatkan satu dimensi. Di kasus lain, dua atau bahkan lebih dimensi dilibatkan.

Pada peristiwa perpindahan panas, jumlah panas yang berpindah per satuan waktu disebut laju perpindahan panas ( $\dot{Q}$ ) dengan satuan watt (W) atau joule/s. Total panas yang berpindah ( $Q$ ) dalam interval waktu  $\Delta t$  dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Q = \int_0^{\Delta t} \dot{Q} dt \quad (J) \quad (2.1)$$

Bila laju perpindahan panas bersifat tetap, maka persamaan (2.1) dapat ditulis

$$Q = \dot{Q} \Delta t \quad (J) \quad (2.2)$$

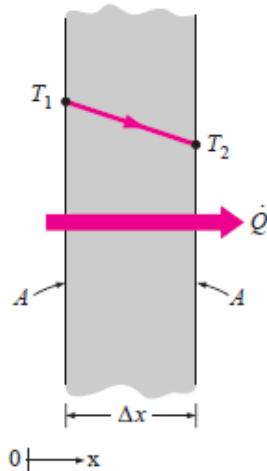
(Cengel, 2002 : 9)

Laju perpindahan panas per satuan luas yang searah dengan arah perpindahan panas disebut fluks panas  $\dot{q}$ .

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} \quad (\text{W/m}^2) \quad (2.3)$$

(Cengel, 2002 : 10)

Pada kasus analisis perpindahan panas sederhana pada benda berkoordinat kartesian dengan hanya melibatkan satu dimensi, laju perpindahan panasnya ialah



**Gambar 2.1** Ilustrasi perpindahan panas pada kasus dimensi satu (Cengel, 2002: 18)

$$\dot{Q} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (\text{W}) \quad (2.4)$$

(Cengel, 2002 : 18)

dimana  $\dot{Q}$  = laju perpindahan panas (watt atau Btu/jam)

$A$  = luas penampang ( $\text{m}^2$  atau  $\text{ft}^2$ )

$k$  = konduktivitas termal ( $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  atau  $\text{Btu}/\text{jam ft}^{\circ}\text{F}$ )

$\frac{dT}{dx}$  = gradien temperatur dalam arah  $x$  ( $\text{K}/\text{m}$  atau  $^{\circ}\text{F}/\text{ft}$ )

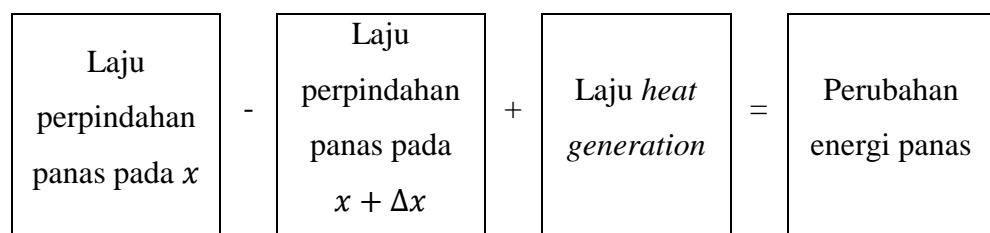
Tanda negatif menunjukkan bahwa arah perpindahan panas menuju temperatur yang lebih rendah pada benda. Perubahan suhu yang mempengaruhi laju perpindahan panas hanya berubah terhadap dimensi  $x$ . Pengabaian dimensi  $y$  dan  $z$  dilakukan dengan anggapan bahwa suhu di sepanjang dimensi  $y$  dan  $z$  memiliki nilai yang sama. Selain itu, pengabaian terhadap sumbu  $y$  dan  $z$  juga dilakukan karena panjang ke arah sumbu  $y$  dan  $z$  pada benda jauh lebih kecil dibandingkan dengan panjang ke arah sumbu  $x$  pada benda.

Daya hantar panas atau konduktivitas termal adalah sifat bahan yang menunjukkan seberapa cepat bahan itu menghantarkan panas. Pada umumnya untuk mengetahui daya hantar panas suatu bahan harus dilakukan percobaan karena besar daya hantar dipengaruhi oleh beberapa hal, salah satunya suhu. Namun karena pengaruhnya yang tidak terlalu besar, maka konduktivitas termal suatu benda biasanya dianggap tetap.

Pada kasus *steady state*, konduktivitas termal merupakan satu – satunya parameter benda yang mempengaruhi distribusi suhu pada benda. Namun pada kasus *unsteady state* atau *transient*, distribusi suhu juga dipengaruhi oleh kapasitas termal ( $\rho C$ ). Selain itu terdapat difusivitas termal yang merupakan perpaduan antara aspek – aspek termal tersebut ( $\rho, C, k$ ). Semakin tinggi difusivitas termal suatu benda, semakin cepat panas merambat pada benda tersebut. Difusivitas termal dituliskan sebagai  $\alpha = k/\rho C$  dengan satuan  $\text{m}^2/\text{s}$  (Cengel, 2002: 23).

Suatu benda yang dialiri listrik dapat mengakibatkan temperatur benda tersebut naik. Hal ini disebabkan adanya energi listrik yang berubah menjadi energi panas. Peristiwa perubahan energi listrik menjadi energi panas ini disebut dengan *heat generation*. Besar perubahan energi ini merupakan besar daya tiap satuan volume. Laju *heat generation* pada suatu benda per satuan volume dinotasikan sebagai  $\dot{g}$  dengan satuan  $\text{W/m}^3$  (Cengel, 2002: 66).

Hukum pertama termodinamika atau juga disebut dengan hukum kekekalan energi, menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan ataupun dimusnahkan, dan hanya dapat berubah bentuk. Dalam kasus konduksi, penerapan hukum pertama termodinamika dapat dijelaskan sebagai berikut.



**Gambar 2.2** Penerapan Hukum pertama termodinamika (Cengel, 2002 : 68)

Secara matematis, besaran fisis yang tercantum pada Gambar 2.3 dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\dot{Q}_x - \dot{Q}_{x+\Delta x} + \dot{G} = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (2.5)$$

Perubahan energi panas ( $\Delta E$ ) yang terjadi dalam interval waktu tertentu ( $\Delta t$ ) pada suatu sistem merupakan selisih energi panas di kedua sisi ( $\dot{Q}_x - \dot{Q}_{x+\Delta x}$ ) ditambah dengan perubahan bentuk energi panas ( $\dot{G}$ ). *Heat generation* yang dinotasikan sebagai  $\dot{G}$  merupakan energi listrik, nuklir,

kimia, dan sebagainya yang berubah menjadi energi panas dalam sistem tersebut per satuan volume.  $\Delta E$  dan  $\dot{G}$  dapat dijabarkan sebagai

$$\Delta E = E_{t+\Delta t} - E_t = mC(T_{t+\Delta t} - T_t) = \rho A \Delta x C (T_{t+\Delta t} - T_t) \quad (2.6)$$

$$\dot{G} = \dot{g}V = \dot{g}A\Delta x \quad (2.7)$$

dimana  $\rho C$  merupakan kapasitas panas pada benda dalam satuan  $J/m^3 \cdot ^\circ C$ , dan  $A$  adalah luas penampang benda yang dilalui panas dalam satuan  $m^2$ .

Substitusi persamaan (2.6) dan (2.7) ke persamaan (2.5), menghasilkan

$$\dot{Q}_x - \dot{Q}_{x+\Delta x} + \dot{g}A\Delta x = \rho A \Delta x C \frac{(T_{t+\Delta t} - T_t)}{\Delta t}. \quad (2.8)$$

Kedua ruas persamaan (2.8) dibagi dengan  $A\Delta x$  menghasilkan

$$-\frac{1}{A} \frac{\dot{Q}_{x+\Delta x} - \dot{Q}_x}{\Delta x} + \dot{g} = \rho C \frac{(T_{t+\Delta t} - T_t)}{\Delta t}. \quad (2.9)$$

(Cengel, 2002 : 68)

Dengan mengambil limit  $\Delta t \rightarrow 0$  dan  $\Delta x \rightarrow 0$

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\dot{Q}_{x+\Delta x} - \dot{Q}_x}{\Delta x} = \frac{\partial \dot{Q}}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( -kA \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (2.10)$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \rho C \frac{(T_{t+\Delta t} - T_t)}{\Delta t} = \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.11)$$

maka,

$$\begin{aligned} \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left( kA \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \dot{g} &= \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \\ \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \dot{g} &= \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \\ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\dot{g}}{k} &= \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \end{aligned} \quad (2.12)$$

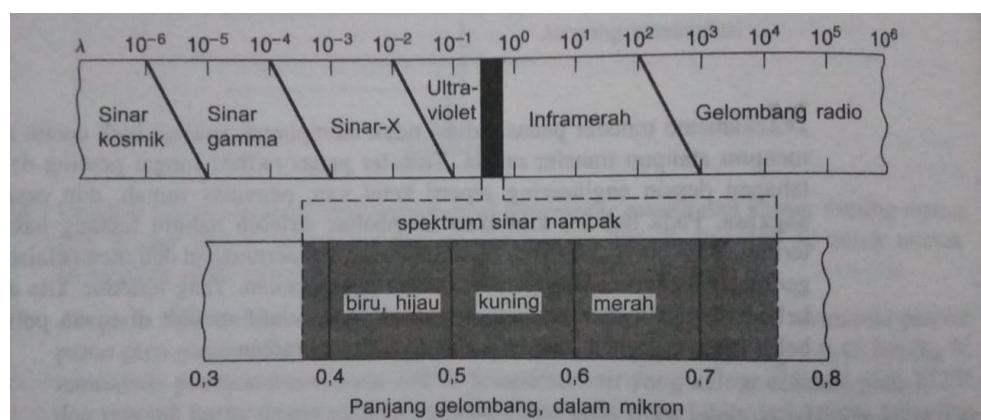
Persamaan (2.12) berlaku untuk kasus perpindahan panas keadaan tak tunak atau *unsteady state* atau *transient*. Sedangkan untuk keadaan tunak atau *steady state*, perubahan suhu terhadap waktu tidak diperhitungkan, sehingga persamaan (2.13) dapat ditulis sebagai berikut

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\dot{g}}{k} = 0 \quad (2.13)$$

(Cengel, 2002 : 69)

## B. Radiasi Inframerah

Radiasi merupakan perubahan energi dalam atau *internal energy* yang dipancarkan keluar dari benda dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Gelombang elektromagnetik yang dipancarkan memiliki panjang gelombang ( $\lambda$ ) yang bervariasi, diukur menggunakan satuan Angstrom ( $\text{\AA}=10^{-10} \text{ m}$ ) atau micron ( $\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ ). Panjang gelombang dari gelombang elektromagnetik yang terpendek hingga terpanjang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Spektrum gelombang elektromagnetik (Welty et.al., 2004: 188)

Panjang gelombang ( $\lambda$ ) berbanding terbalik dengan frekuensi atau kekuatan gelombang tersebut. Semakin panjang  $\lambda$ , maka frekuensi dari gelombang tersebut semakin kecil. Sebaliknya, semakin pendek  $\lambda$  maka frekuensi atau kekuatan gelombang untuk menembus suatu benda akan semakin besar. Secara lebih rinci, pembagian kategori gelombang elektromagnetik dijelaskan pada Tabel 1.

**Tabel 2.1** Spektrum gelombang elektromagnetik (Karwa, 2017: 666)

Jenis Sinar	Panjang Gelombang ( $\mu\text{m}$ )
Sinar Kosmik	$\leq 4 \times 10^{-7}$
Sinar Gamma	$4 \times 10^{-7}$ hingga $1 \times 10^{-4}$
Sinar X	$1 \times 10^{-4}$ hingga $2 \times 10^{-2}$
Sinar UV	$1 \times 10^{-2}$ hingga 0,38
Sinar Tampak	0,38 hingga 0,78
Inframerah	0,78 hingga $1 \times 10^3$
Radar, TV, Radio	$1 \times 10^3$ hingga $2 \times 10^{10}$

Radiasi yang mengenai benda dapat diserap, dipantulkan, atau diteruskan oleh benda. Ketika radiasi mengenai suatu benda, ketiga peristiwa tersebut dapat terjadi sekaligus, namun pada beberapa kasus hanya dapat terjadi salah satu peristiwa saja tergantung karakteristik dari benda itu sendiri. Benda yang dapat menyerap seluruh radiasi yang terpancar disebut benda hitam atau *blackbody*. Benda yang memantulkan radiasi dengan sempurna disebut *white body*. Sedangkan benda yang memungkinkan

radiasi untuk menembus benda tanpa ada radiasi terserap atau terpantul oleh benda, disebut *transparent* atau *diathermanous* (Karwa, 2017 : 668).

### **1. Emisivitas dan Benda Hitam**

Benda hitam merupakan medium yang dapat menyerap radiasi dengan baik. Meskipun benda hitam tidak dapat ditemukan pada kejadian alam, namun konsep mengenai benda hitam sangat penting (Karwa, 2017 : 669).

Emisivitas merupakan perbandingan pancaran radiasi antara suatu benda dengan benda hitam, pada temperatur yang sama. Pada tahun 1879, Stefan merumuskan total energi ( $q$ ) yang dipancarkan oleh benda hitam yakni sebanding dengan pangkat empat temperatur benda. Di tahun 1884, Boltzmann memberikan bukti secara teori mengenai kebenaran rumusan Stefan tersebut. Hal ini kemudian dikenal dengan hukum Stefan-Boltzmann :

$$q = \sigma A T^4 \quad (2.14)$$

dimana  $\sigma$  merupakan konstanta Stefan-Boltzmann dan  $A$  adalah luas permukaan (Karwa, 2017 : 669)

### **2. Distribusi Spektral Planck**

Radiasi yang dipancarkan oleh suatu benda memiliki variasi panjang gelombang. Hal ini berpengaruh terhadap besar energi yang dipancarkan. Energi yang dipancarkan oleh benda dengan suatu panjang gelombang tertentu disebut energi emisivitas monokromatik. Energi tersebut dirumuskan oleh Max Planck sebagai berikut.

$$E_{b\lambda} = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{c_2/\lambda T} - 1} \quad (2.15)$$

(Karwa, 2017 : 670)

dimana

$\lambda$  = panjang gelombang (m)

$T$  = temperatur benda (K)

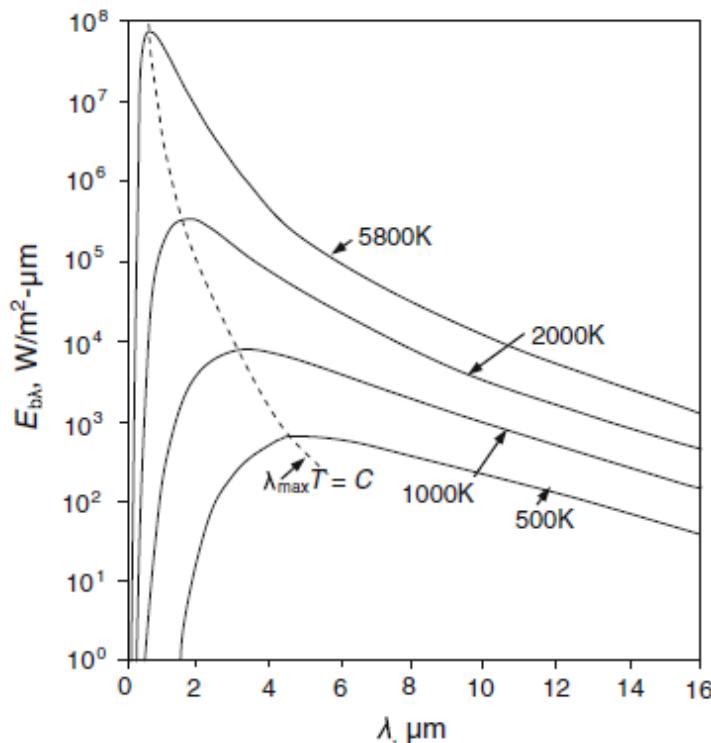
$c_1 = 2\pi c_0^2 h = 3,743 \times 10^{-16} \text{ J/m}^2 \text{ s}$

$c_0$  = kecepatan cahaya =  $2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$

$h$  = konstanta Planck =  $6,6236 \times 10^{-34} \text{ J/s}$

$c_2 = c_0 h/k = 1,4387 \times 10^{-2} \text{ m K}$

$k$  = konstanta Boltzmann =  $1,38066 \times 10^{-23} \text{ J/molekul K}$



**Gambar 2.4** Energi emisivitas monokromatik dari *blackbody* dan variasi suhu menurut Hukum Planck (Karwa, 2017: 671)

Dapat dilihat pada Gambar 2.4, bahwa suhu suatu benda mempengaruhi distribusi panjang gelombang dari radiasi yang dipancarkan. Salah satu contoh ialah pada suhu 5800 K, banyak radiasi dengan panjang gelombang antara 0,1 hingga 3  $\mu\text{m}$  yang terpancar dari benda.

Pada keadaan awal benda dipanaskan, warna benda akan berubah dari warna normal (warna benda sebelum dipanaskan), menuju merah, oranye, dan terakhir putih. Urutan warna pada sinar tampak dengan panjang gelombang terpendek hingga terpanjang yakni ungu, biru, hijau, kuning, jingga, merah. Benda akan mengalami perubahan menjadi warna merah karena pada suhu tersebut, benda hanya dapat memancarkan radiasi dengan panjang gelombang yang besar termasuk panjang gelombang untuk warna merah. Semakin tinggi suhu benda, radiasi yang dipancarkan akan memiliki panjang gelombang yang semakin kecil sehingga memunculkan warna lain pada benda. Pada suhu yang cukup tinggi, akan lebih banyak variasi panjang gelombang yang terpancar. Perpaduan dari banyak panjang gelombang ini mengakibatkan banyak warna muncul dan terbentuklah warna putih yang merupakan gabungan dari banyak warna.

### 3. Hukum Pergeseran Wein

Gambar 2.4 juga dapat memperlihatkan bentuk dari hukum pergeseran Wein. Pada suhu yang rendah,  $\lambda_{\max}$  dari radiasi yang terpancar memiliki nilai yang lebih besar. Bila suhu benda naik, maka

$\lambda_{\max}$  yang terpancar akan memiliki nilai yang lebih kecil. Meskipun  $\lambda_{\max}$  radiasi berbeda untuk tiap suhu tertentu, namun hasil kali antara keduanya tetap konstan. Hal ini dijelaskan oleh Wein sebelum Planck merumuskan distribusi energi emisivitas monokromatiknya,

$$\lambda_{\max} \propto \frac{1}{T}$$

$$\lambda_{\max} T = \text{konstanta} = 2897,6 \text{ } (\mu\text{m}) \text{ K} \quad (2.16)$$

(Karwa, 2017 : 672)

### C. Metode *Finite Difference*

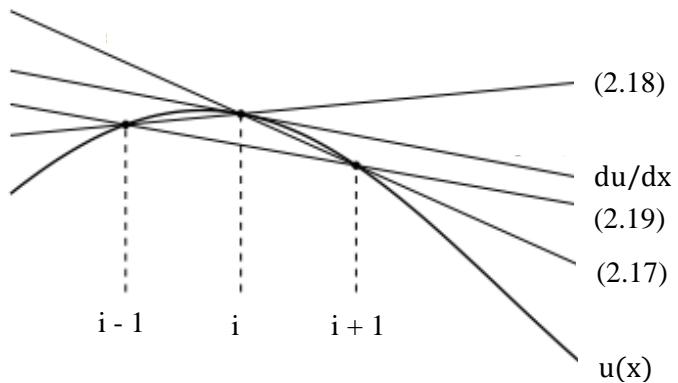
Metode *finite difference* adalah metode pendekatan untuk mencari solusi dari suatu persamaan diferensial secara diskret berdasarkan syarat batas yang diberikan (Leveque, 2007 : 3). Untuk turunan pertama dari suatu fungsi, solusi yang ditawarkan adalah sebagai berikut.

$$\frac{du}{dx} = \frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta x} \quad (2.17)$$

$$\frac{du}{dx} = \frac{u_i - u_{i-1}}{\Delta x} \quad (2.18)$$

$$\frac{du}{dx} = \frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{2\Delta x} = \frac{1}{2} \left( \frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta x} + \frac{u_i - u_{i-1}}{\Delta x} \right) \quad (2.19)$$

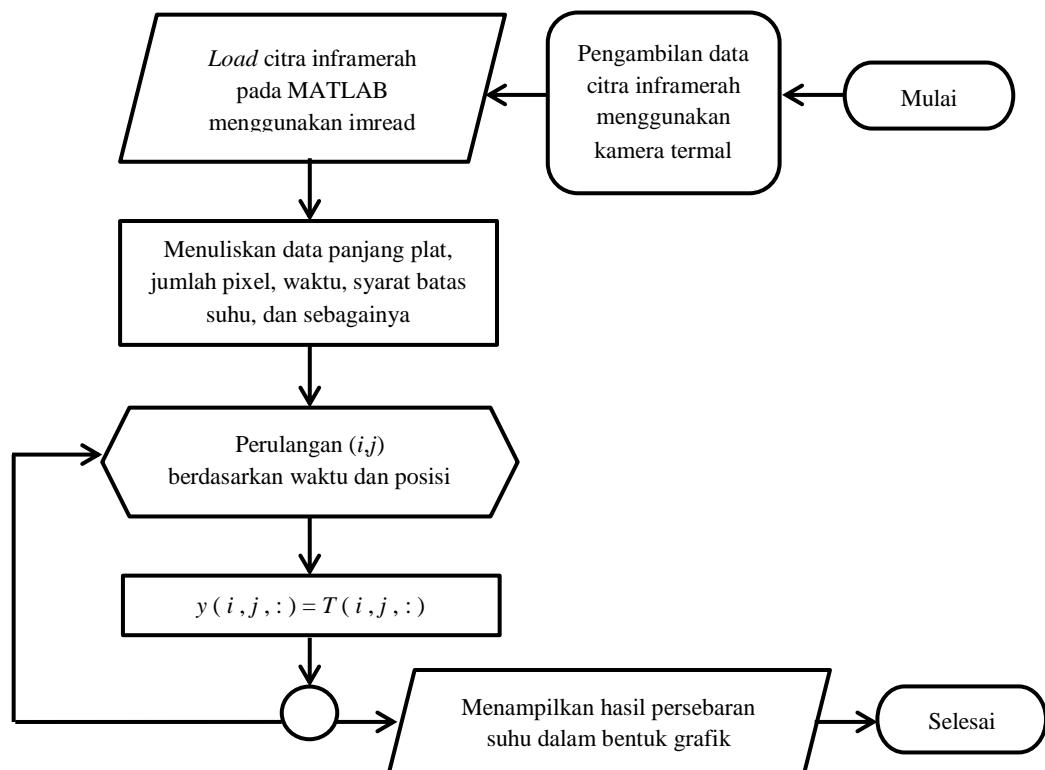
Grafik dari persamaan – persamaan di atas adalah sebagai berikut.



**Gambar 2.5** Grafik solusi pendekatan *finite difference* (Leveque, 2007 : 4)

Sedangkan untuk solusi dari turunan kedua suatu fungsi, dapat dicari menggunakan persamaan (2.17) dan (2.18) sebagai berikut.

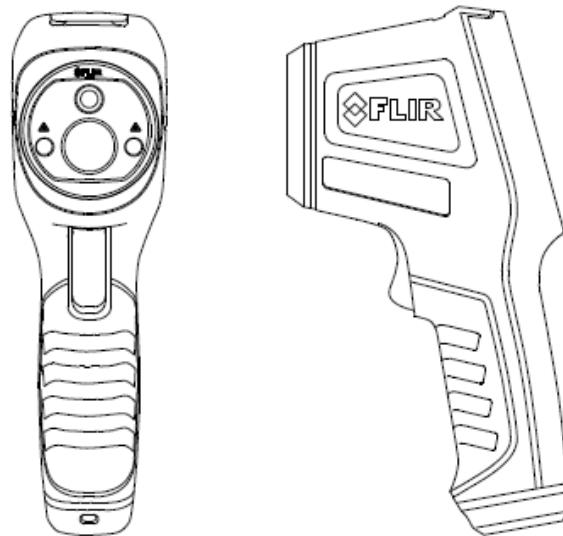
$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} \left( \frac{du}{dx} \right) &= \frac{d}{dx} \left( \frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta x} \right) = \frac{1}{\Delta x} \left( \frac{(u_{i+1} - u_i) - (u_{i+1-1} - u_{i-1})}{\Delta x} \right) \\ &= \frac{u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}}{\Delta x^2} \end{aligned} \quad (2.20)$$



**Gambar 2.6** Diagram alir program

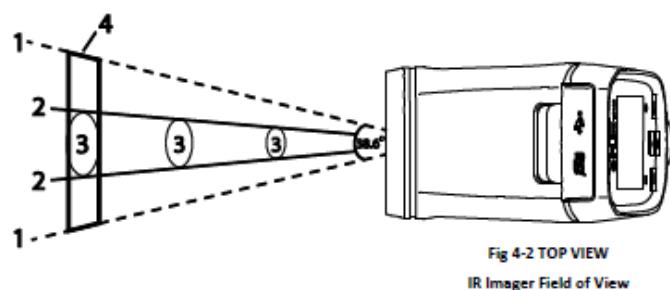
#### D. Kamera Termal FLIR TG165

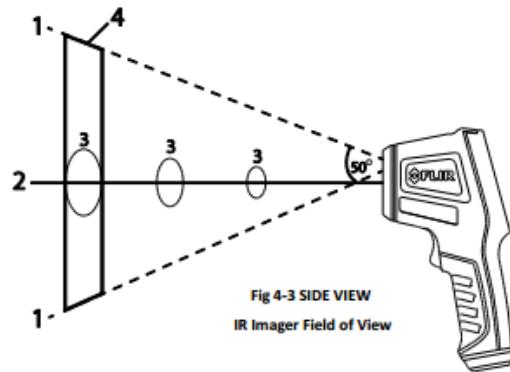
Kamera termal merupakan alat yang dapat mendeteksi suhu benda yang diamati pada banyak titik. Salah satu perusahaan yang memproduksi kamera termal adalah FLIR (*Forward-Looking Infrared*).



**Gambar 2.7** Kamera termal FLIR TG165 (buku manual FLIR TG165, 2017 : 1)

TG165 terdiri dari dua lensa yakni untuk penggambaran termal dan termometer inframerah. Terdapat dua buah laser di kanan-kiri lensa yang menunjukkan area pengukuran kamera termal dan jarak antara kamera dan objek pengamatan.





**Gambar 2.8** Area pengukuran kamera termal FLIR seri TG165 (buku manual FLIR TG165, 2017 : 10)

Garis putus – putus (1) menunjukkan area penggambaran inframerah. Garis solid (2) menunjukkan area dari thermometer inframerah. Area (3) menunjukkan diameter pengukuran dari thermometer inframerah. Area (4) akan menjadi daerah yang ditunjukkan pada layar display. Sensor yang digunakan oleh TG165 ialah *Lepton micro termal sensor* buatan FLIR sendiri. TG165 memiliki jarak pengukuran 24:1, yang berarti pada jarak 24" (60,96 cm) antara kamera dan objek, TG165 mengukur rata – rata temperatur dengan diameter 1" (2,54 cm). Hal ini berlaku untuk rasio 48:2 dan 72:3. Jarak pengukuran harus lebih dari 10" (25,4 cm) untuk mendapatkan hasil pengukuran yang maksimal (buku manual FLIR TG165, 2017 : 10)

Emisivitas TG165 dapat diatur pada 0,1 untuk benda yang dapat memantulkan panas dengan baik hingga 1,0 untuk benda yang hitam. Untuk mengukur suhu suatu benda menggunakan TG165, nilai emisivitas pada kamera harus diatur terlebih dahulu berdasarkan Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Emisivitas benda (buku manual FLIR TG165, 2017 : 28)

Material	Emissivity	Material	Emissivity
Asphalt	0.90 to 0.98	Cloth (black)	0.98
Concrete	0.94	Skin (human)	0.98
Cement	0.96	Leather	0.75 to 0.80
Sand	0.90	Charcoal (powder)	0.96
Soil	0.92 to 0.96	Lacquer	0.80 to 0.95
Water	0.92 to 0.96	Lacquer (matt)	0.97
Ice	0.96 to 0.98	Rubber (black)	0.94
Snow	0.83	Plastic	0.85 to 0.95
Glass	0.90 to 0.95	Timber	0.90
Ceramic	0.90 to 0.94	Paper	0.70 to 0.94
Marble	0.94	Chromium Oxides	0.81
Plaster	0.80 to 0.90	Copper Oxides	0.78
Mortar	0.89 to 0.91	Iron Oxides	0.78 to 0.82
Brick	0.93 to 0.96	Textiles	0.90

Gambar yang dihasilkan oleh kamera termal memiliki warna yang menggambarkan suhu suatu objek, dimana semakin putih warna suatu objek yang diamati, semakin tinggi suhu objek tersebut. Gambar keluaran TG165 berukuran 174 x 220 pixel (tambahan suhu dan emisivitas) dengan format gambar bitmap (.bmp). Sedangkan gambar yang hanya merupakan keluaran termal inframerah berukuran 60 x 80 pixel.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian perpindahan panas pada plat alumunium dilakukan pada bulan September tahun 2019 di Laboratorium Spektroskopi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.

#### **B. Variabel Penelitian**

##### **1. Variabel Bebas**

Pada penelitian ini, variabel yang menjadi penyebab terjadinya perpindahan panas adalah arus listrik yang dialirkkan ke kawat nikelin dan diubah menjadi energi panas. Variasi arus listrik dapat dilakukan dengan memvariasi tegangan.

##### **2. Variabel Terikat**

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Dalam penelitian ini yang bertindak sebagai variabel terikat ialah perubahan suhu pada titik – titik plat alumunium.

##### **3. Variabel Kontrol**

Variabel kontrol adalah variabel yang dibuat tetap selama melakukan penelitian yakni plat alumunium yang digunakan, geometri bahan, jarak kamera dengan plat, cara pengambilan data, dan suhu udara di tempat penelitian.

### **C. Jenis Penelitian**

Jenis dari penelitian yang telah dilakukan termasuk dalam kategori eksperimen. Peristiwa perpindahan panas disimulasikan dengan cara memanaskan plat pada salah satu ujungnya menggunakan arus listrik. Untuk mengamati peristiwa tersebut, digunakan kamera termal yang dapat mengetahui perubahan suhu dari plat alumunium. Perubahan suhu ini merupakan indikasi terjadinya perpindahan panas.

### **D. Alat dan Bahan**

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian perpindahan panas ini adalah sebagai berikut.

1. Plat alumunium yang salah satu ujungnya disatukan dengan tanah liat
2. Kawat Nikelin
3. *Power supply*
4. Jepit buaya
5. Kamera termal
6. Penggaris
7. Statis
8. Penyangga kamera (Tripod)
9. Tali
10. Termometer ruangan
11. Multimeter

## **E. Spesifikasi Alat – alat Penelitian**

### **1. Plat Alumunium**

Ukuran plat alumunium yang digunakan ialah 25,1 cm x 7,5 cm x 0,05 cm. Salah satu ujung plat diberi tanah liat agar tidak ada arus listrik yang mengalir pada plat saat dipanaskan.

### **2. Kawat Nikelin**

Kawat nikelin biasanya digunakan sebagai pemanas pada solder, setrika, alat pemotong sterofoam, dan sebagainya, karena dapat mengubah energi listrik menjadi energi panas. Pada penelitian ini, kawat nikelin digunakan untuk memanaskan plat alumunium secara tidak langsung karena kawat dililitkan pada bagian plat yang diberi tanah liat. Kawat nikelin yang digunakan berdiameter 0,5 mm dengan panjang 1,27 m dan memiliki resistansi 6,99 ohm/meter.

### **3. Power Supply**

*Power supply* digunakan sebagai sumber tegangan. Tegangan maksimum *power supply* ialah 12 V.

### **4. Kamera Termal**

Kamera termal yang digunakan merupakan produksi FLIR seri TG165. Suhu yang dapat terdeteksi berkisar antara -25°C hingga 380°C. Gambar yang dihasilkan TG165 memiliki ukuran 174 x 220 pixel dengan resolusi inframerah 60 x 80 pixel.

## **5. Termometer Ruangan**

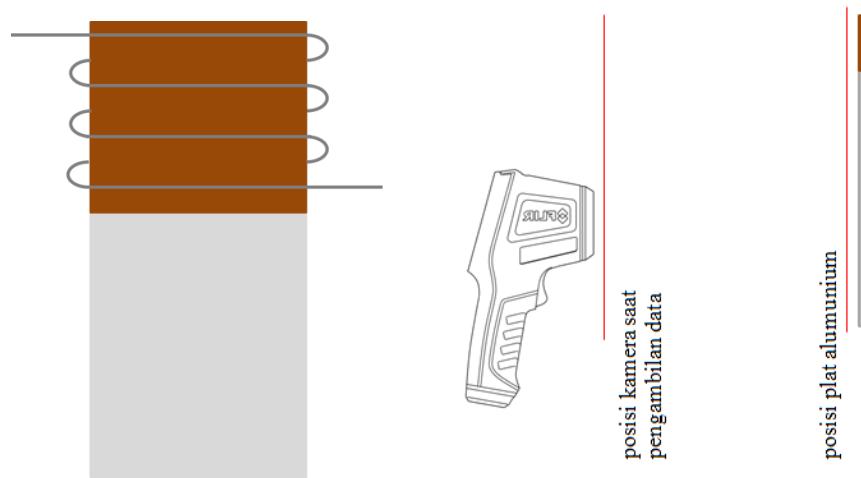
Termometer ruangan diperlukan untuk mengukur suhu ruangan pada saat proses pengambilan data. Suhu yang dapat diukur termometer ruangan berkisar antara 0°C hingga 50°C.

## **F. Prosedur Penelitian**

### **1. Pengondisian Alat**

Pertama – tama, salah satu ujung plat alumunium yang diberi tanah liat dililiti kawat nikelin dan diberi jarak antar lilitan agar tidak saling bersentuhan (mengakibatkan terjadinya arus pendek). Kemudian kawat nikelin yang telah dililitkan pada plat diukur hambatannya menggunakan multimeter. Plat lalu diikat menggunakan tali dan digantungkan pada statis. Terakhir, kawat nikelin disambungkan dengan *power supply* menggunakan jepit buaya.

Setelah plat dalam posisi siap, selanjutnya adalah tahap pemasangan kamera termal. Kamera disangga tripod dengan posisi sensor pada kamera sejajar terhadap objek pengamatan yaitu plat. Jarak antara kamera dan plat diatur agar bagian dari plat yang dikehendaki dapat ditangkap oleh kamera namun tetap memenuhi jarak minimal yang disarankan (25,4 cm).



**Gambar 3.1** Pengondisian alat sebelum melakukan pengambilan data

## 2. Pengambilan Data

Sebelum dilakukan pemanasan, panjang dan posisi plat yang ditampilkan pada layar kamera termal diukur menggunakan penggaris. Kemudian plat dipanaskan dengan memberikan tegangan pada kedua ujung kawat nikelin. Tegangan divariasi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap perpindahan panas yang terjadi.

Pemanasan plat dilakukan selama 30 menit untuk setiap tegangan yang diberikan. Pengambilan data dengan kamera termal dilakukan setiap 1 menit selama proses pemanasan berlangsung.

## 3. Analisis Suhu Menggunakan MATLAB

Aplikasi MATLAB digunakan untuk mengetahui nilai pixel pada titik – titik plat alumunium di setiap *layer* citra inframerah yang diperoleh. Nilai pixel ini yang kemudian dijadikan acuan untuk mengamati perpindahan panas yang terjadi. Format gambar yang dihasilkan oleh kamera termal adalah *bitmap* (.bmp) sehingga gambar

harus diubah ke format *joint photographic experts group* (.jpeg) atau *joint photographic group* (.jpg) terlebih dahulu agar dapat diakses melalui MATLAB. Kemudian digunakan perintah “imread” untuk pembacaan citra inframerah oleh MATLAB. Setelah itu persebaran nilai pixel ditampilkan dalam bentuk grafik untuk mempermudah analisis menggunakan perintah “plot”.

## G. Teknik Analisis Data

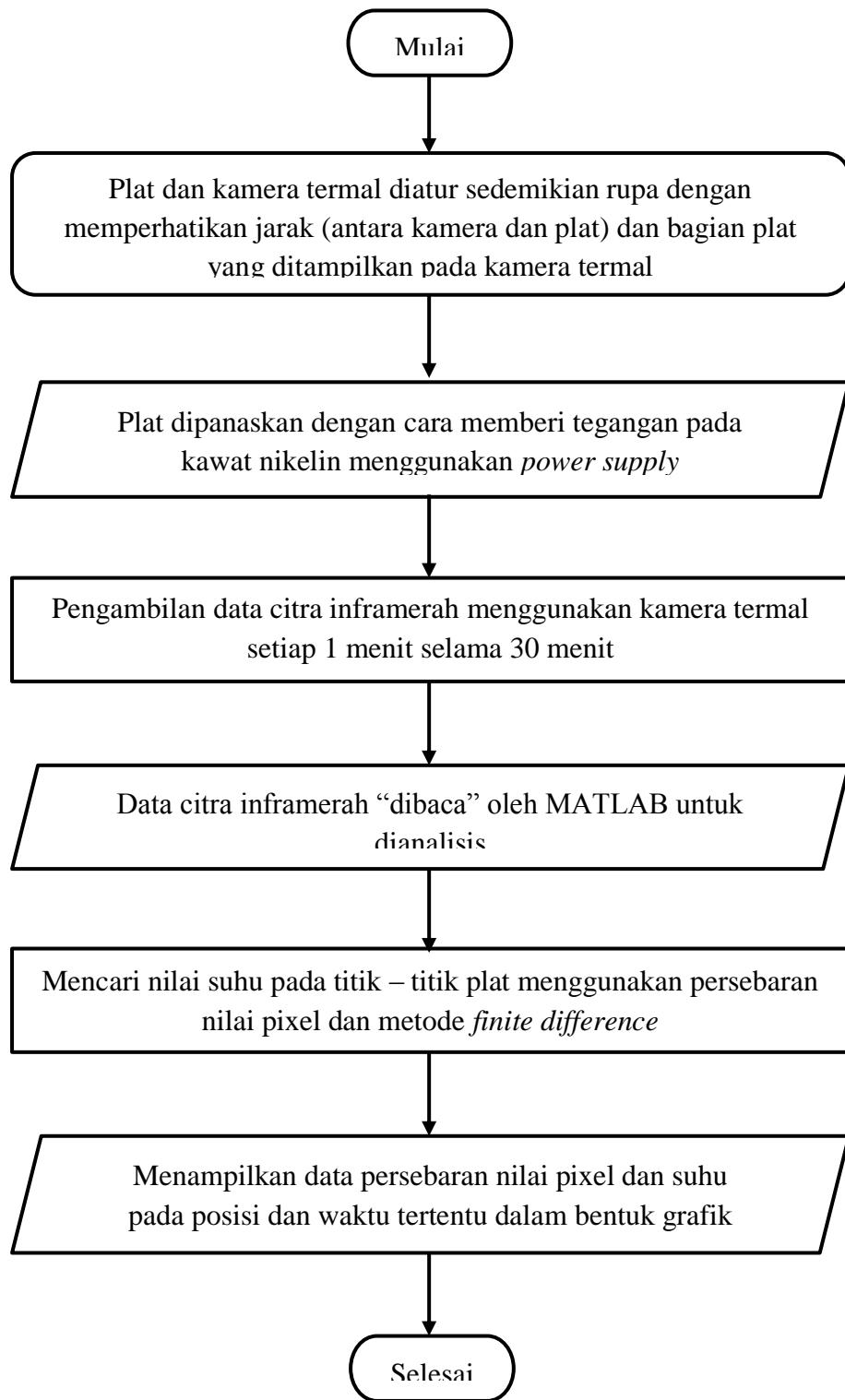
### 1. Persebaran Nilai Pixel

Perpindahan panas dapat diamati melalui perubahan suhu. Citra inframerah plat yang diperoleh menggunakan kamera termal memiliki informasi suhu yang dapat diketahui berdasarkan nilai pixelnya. Nilai pixel dan suhu kemudian dicari hubungan antara keduanya lalu dianalisis terhadap posisi dan waktu untuk mengetahui perpindahan panas.

### 2. Nilai Suhu Berdasarkan Metode *Finite Difference*

Setelah melakukan analisis terhadap nilai pixel, nilai suhu dicari menggunakan pendekatan metode *finite difference*. Pencarian nilai suhu ini dilakukan pada aplikasi MATLAB. Suhu yang diperoleh berdasarkan metode ini kemudian dibandingkan dengan suhu hasil analisis persebaran nilai pixel.

## H. Diagram Alir



**Gambar 3.2** Diagram alir penelitian

## **BAB IV**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **A. Persebaran Nilai Pixel pada Citra Inframerah yang Diperoleh**

Kamera termal dapat mengukur suhu pada objek yang diamati di setiap titik yang ditangkap oleh sensor kamera termal pada satu waktu. Suhu dari objek pengamatan kemudian direpresentasikan dengan variasi warna pada citra inframerah. Warna – warna yang ditampilkan berbeda tergantung dari kamera termal yang digunakan. Kamera termal FLIR TG165 menampilkan suhu dari tinggi ke rendah dengan warna putih, kuning, oren, merah, ungu, dan biru.



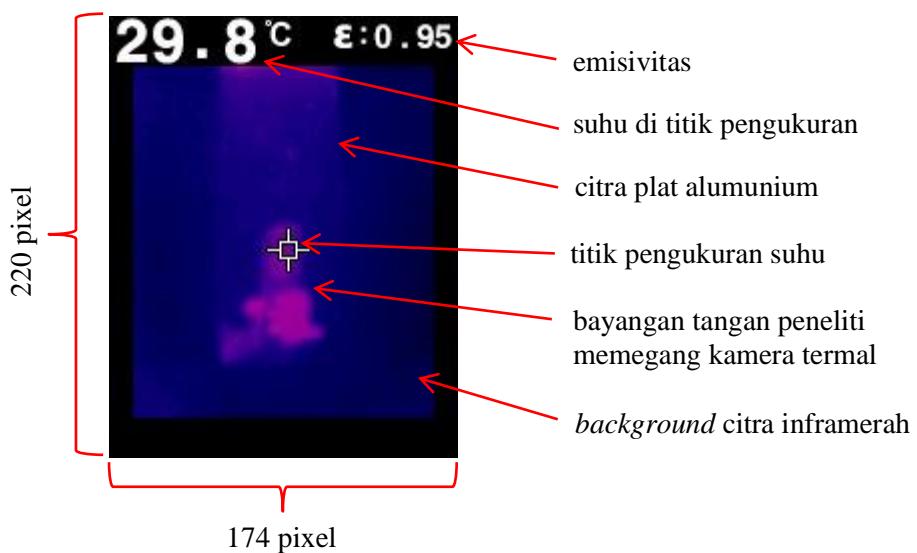
**Gambar 4.1** Range warna pada kamera termal FLIR TG165

Namun kamera termal FLIR TG165 memiliki keterbatasan dalam menampilkan suhu yang diukur dimana hanya dapat ditampilkan suhu di satu titik pada citra inframerah yang diperoleh. Titik tersebut berada di tengah citra inframerah. Oleh karena itu, untuk mengetahui persebaran suhu

di setiap titik pada citra inframerah yang diperoleh, analisis suhu dapat dilakukan dengan menganalisis warna pada citra inframerah melalui pendekatan nilai pixel.

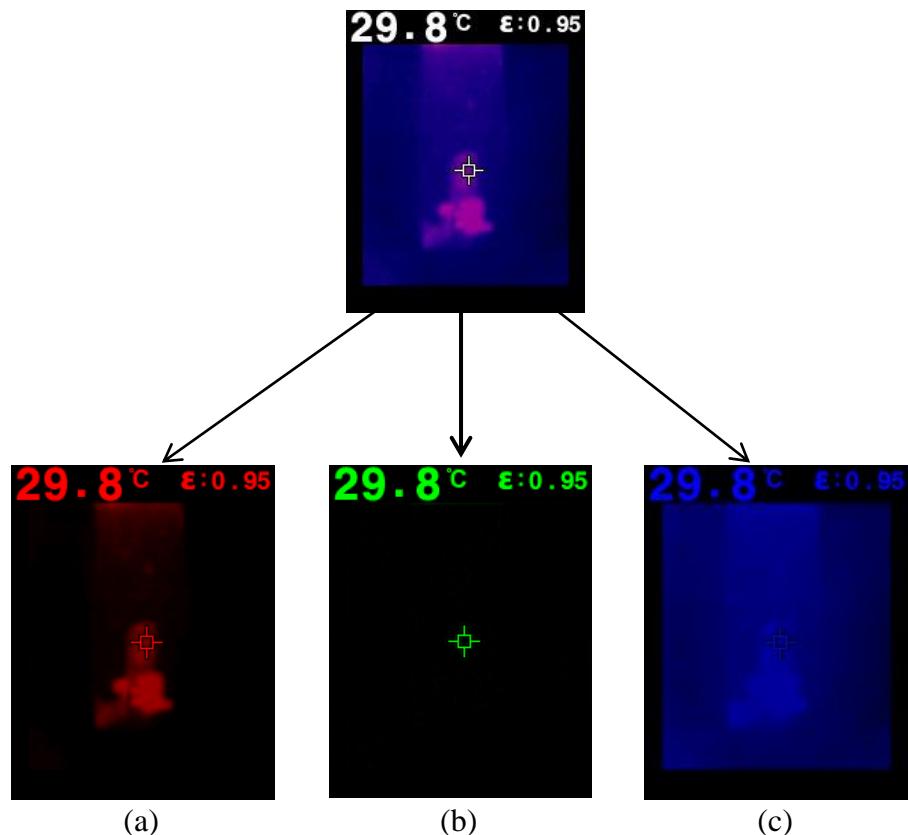
Panjang keseluruhan plat adalah 25,1 cm. Bagian plat alumunium yang ditangkap merupakan bagian plat saja (tanpa tanah liat) dengan panjang 20,3 cm. Bagian plat yang ditangkap tersebut merupakan bagian plat pada jarak 2 cm dari tanah liat sehingga panjang plat yang ditangkap oleh sensor kamera termal adalah 18,3 cm.

Pada penelitian ini, tegangan divariasi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap perpindahan panas yang terjadi. Pada percobaan pertama, tegangan yang diberikan sebesar  $(6,2 \pm 0,1)$  volt dan tegangan pada percobaan kedua sebesar  $(8,9 \pm 0,1)$  volt. Hasil citra inframerah yang ditangkap oleh kamera termal adalah sebagai berikut.



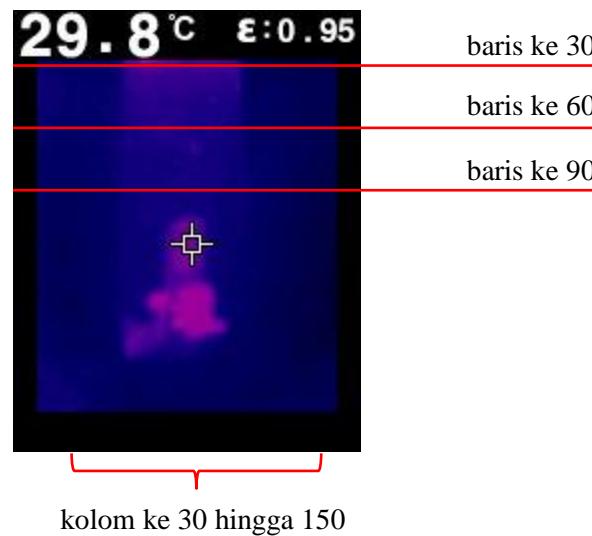
**Gambar 4.2** Hasil citra inframerah yang ditangkap kamera termal saat diberi tegangan  $(8,9 \pm 0,1)$  volt selama 17 menit

Gambar 4.2 adalah citra inframerah yang diperoleh setelah diberi tegangan sebesar  $(8,9 \pm 0,1)$  volt selama 17 menit dengan jarak antara kamera termal dan plat pada saat penelitian adalah 27,1 cm. Citra inframerah ini memiliki ukuran pixel 220 baris x 174 kolom x 3 *layer*. Baris dan kolom digunakan untuk menunjukkan posisi pixel pada citra inframerah, sedangkan 3 *layer* tersebut merupakan *layer* merah, hijau dan biru (RGB) yang memberikan warna pada citra inframerah. Setiap pixel memiliki *range* nilai dari 0 hingga 255. Gabungan dari nilai pixel di *layer* merah, *layer* hijau dan *layer* biru inilah yang menghasilkan warna yang berbeda pada citra yang diperoleh.

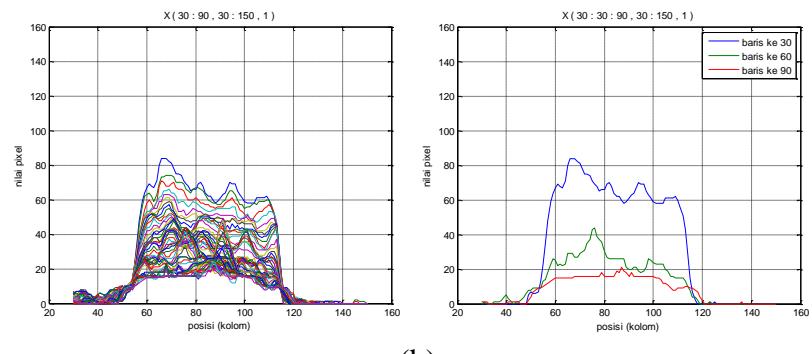


**Gambar 4.3** Citra inframerah pada plat alumunium saat diberi tegangan  $(8,9 \pm 0,1)$  volt selama 17 menit (a) *layer* merah (b) *layer* hijau (c) *layer* biru

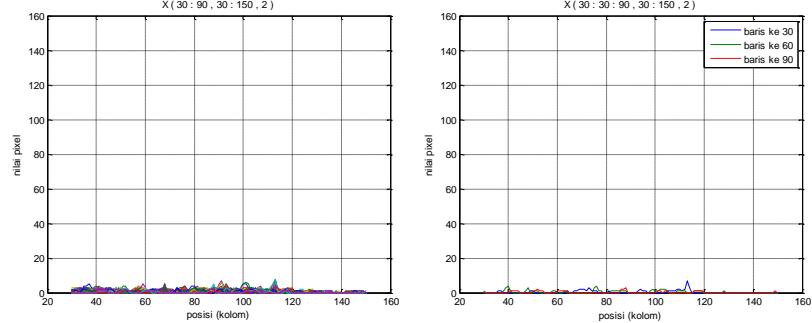
Untuk mengetahui peristiwa perpindahan panas yang terjadi pada plat menggunakan pendekatan nilai pixel, analisis dapat dilakukan pada nilai pixel di salah satu *layer*. Berikut merupakan persebaran nilai pixel pada baris ke 30, 60, 90, kolom ke 30 hingga 150 yang ditampilkan dalam bentuk grafik.



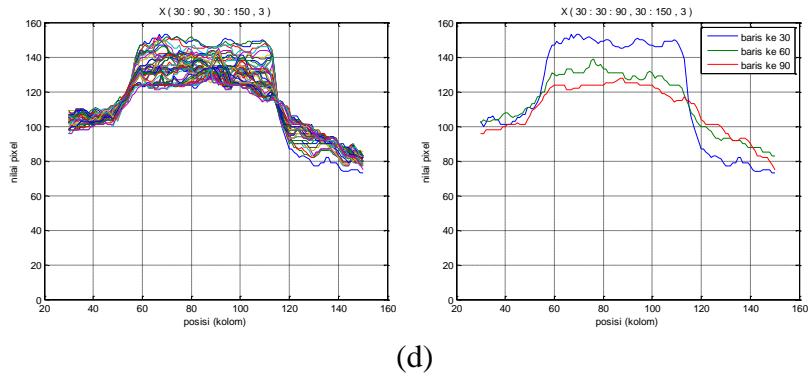
(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 4.4** Grafik persebaran nilai pixel pada baris ke 30, 60, 90, kolom ke 30 hingga 150 saat diberi tegangan sebesar  $(8,9 \pm 0,1)$  volt selama 17 menit (a) Posisi pixel baris ke 30, 60, 90, kolom ke 30 hingga 150 pada citra inframerah (b) *layer* merah (c) *layer* hijau (d) *layer* biru

Citra inframerah yang menunjukkan posisi plat dimulai dari pixel pada baris ke 25. Posisi plat yang ditunjukkan pada baris ke 30 memiliki jarak 2,6 cm dari bagian plat yang diberi tanah liat. Pada baris ke 60, posisi yang ditunjukkan adalah 6,4 cm dan pada baris ke 90 posisi yang ditunjukkan adalah 10,1 cm.

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 4.4 (b), persebaran nilai pixel pada *layer* merah mengalami kenaikan pada kolom ke 55 hingga 60 dan mengalami penurunan secara konstan pada kolom ke 110 hingga 119. Kenaikan dan penurunan nilai pixel secara konstan ini disebabkan karena perbedaan suhu yang cukup besar antara suhu lingkungan dan suhu plat pada posisi pixel tersebut. Berdasarkan grafik persebaran nilai pixel ini juga dapat disimpulkan bahwa panas tidak hanya berpindah pada plat namun juga pada lingkungan sekitarnya. Hal ini dapat dilihat dari

kemiringan grafik nilai pixel saat terjadi kenaikan dan penurunan pada posisi pixel kolom ke 55 hingga 60 dan 110 hingga 119.

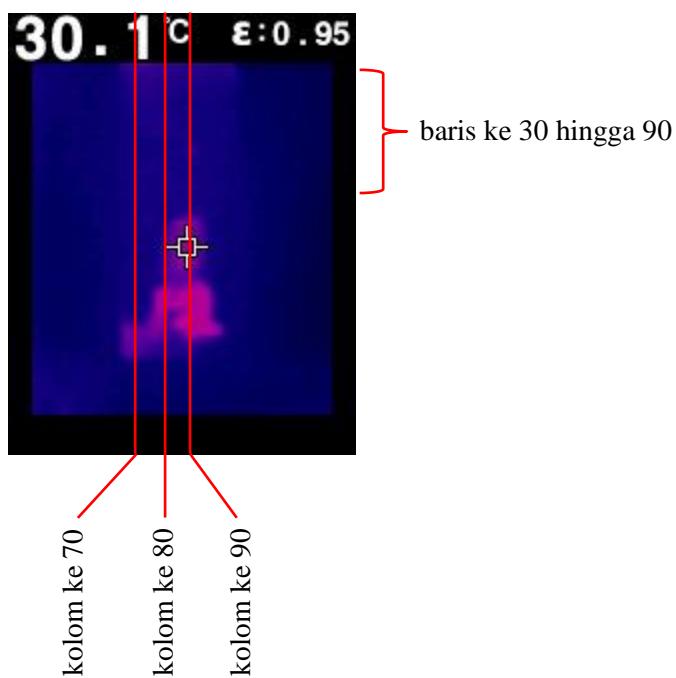
Nilai pixel pada *layer* hijau terlihat tidak begitu memiliki peran dalam memberikan warna pada citra inframerah yang diperoleh. Seperti yang kita ketahui, gabungan antara warna merah dan hijau akan menghasilkan warna kuning, gabungan antara warna biru dan hijau akan menghasilkan warna *cyan*, sedangkan gabungan antara warna merah dan biru akan menghasilkan warna ungu. Pada citra inframerah dengan posisi pixel baris ke 30, 60, 90, kolom ke 30 hingga 150, warna yang ditampilkan adalah merah, biru, dan ungu. Oleh karena itu, nilai pixel pada *layer* hijau di posisi tersebut memiliki nilai yang kecil bahkan mendekati 0. Pada nilai suhu, emisivitas dan titik pengukuran suhu, warna yang ditampilkan adalah warna putih. Warna putih didapatkan dari penggabungan warna merah, hijau, dan biru.

Persebaran nilai pixel pada *layer* biru mirip dengan persebaran nilai pixel pada *layer* merah dimana nilai pixel pada baris 30 lebih besar dibandingkan nilai pixel pada baris ke 60 dan nilai pixel pada baris ke 60 lebih besar dibandingkan nilai pixel pada baris ke 90. Nilai pixel pada posisi yang dekat dengan sumber panas lebih tinggi dibandingkan dengan nilai pixel pada posisi yang jauh dari sumber panas. Posisi grafik persebaran nilai pixel pada *layer* biru lebih tinggi dibandingkan grafik pada *layer* merah (tidak dimulai dari nilai pixel 0 ataupun mendekati) karena *background* citra inframerah juga berwarna biru.

Berdasarkan ketiga grafik persebaran nilai pixel di atas, nilai pixel pada *layer* merah merepresentasikan terjadinya perpindahan panas lebih baik (menunjukkan terjadinya perpindahan panas dan nilai pixel dimulai dari nilai 0) dibandingkan *layer* hijau dan biru. Oleh karena itu, analisis perpindahan panas selanjutnya akan difokuskan pada persebaran nilai pixel di *layer* merah.

### 1. Persebaran Nilai Pixel saat Tegangan ( $6,2 \pm 0,1$ ) Volt

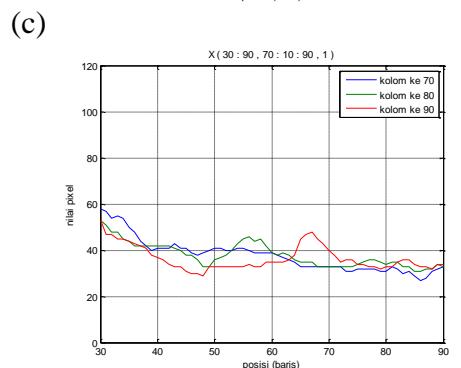
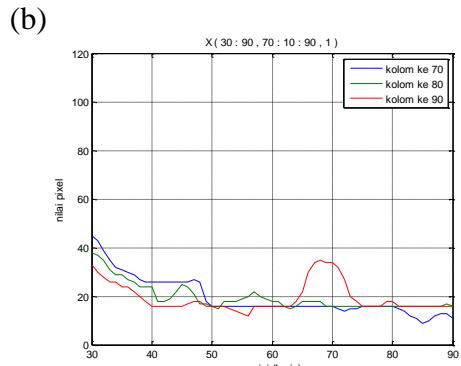
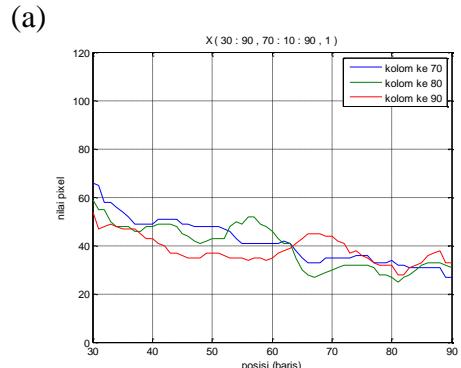
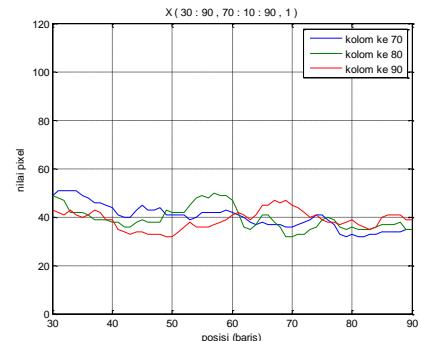
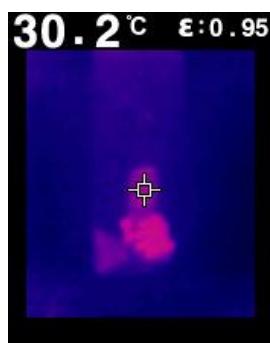
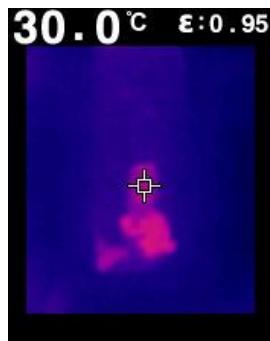
Analisis persebaran panas plat dilakukan dengan mengamati persebaran nilai pixel secara vertikal pada kolom ke 70, 80, 90, baris ke 30 hingga 90.



**Gambar 4.5** Posisi pixel kolom ke 70, 80, 90, baris ke 30 hingga 90 pada citra inframerah saat diberi tegangan sebesar  $(6,2 \pm 0,1)$  volt selama 19 menit

Pengambilan data dilakukan setiap 1 menit selama 30 menit sehingga didapatkan 30 data citra inframerah. Namun peneliti hanya

menampilkan beberapa data yang dirasa sudah cukup untuk mewakili keseluruhan data yang diperoleh.

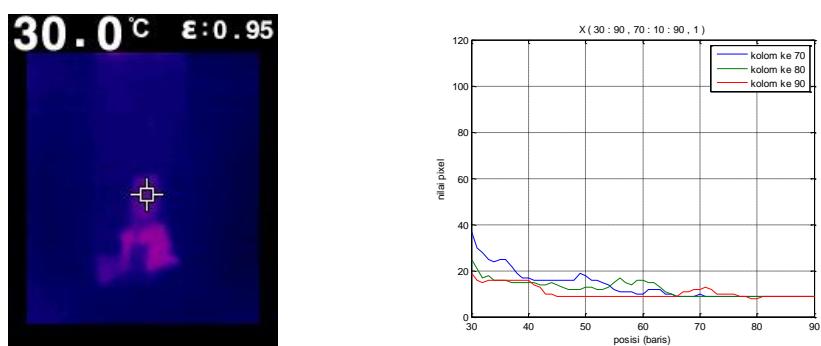


**Gambar 4.6** Grafik persebaran nilai pixel secara vertikal pada kolom ke 70, 80, 90, baris ke 30 hingga 90 saat diberi tegangan sebesar  $(6,2 \pm 0,1)$  volt (a) Menit ke 3 (b) Menit ke 10 (c) Menit ke 20 (d) Menit ke 28

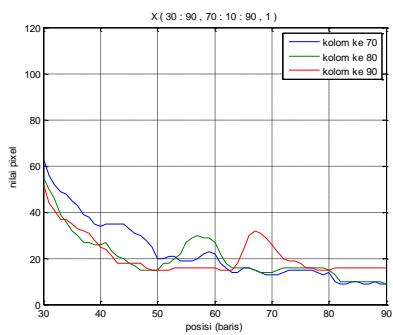
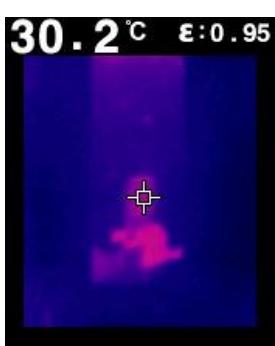
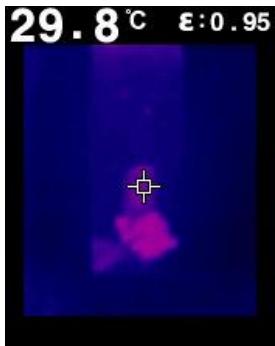
Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa posisi pixel yang dekat dengan sumber panas akan memiliki nilai pixel yang lebih besar dibandingkan nilai pixel pada posisi yang jauh dari sumber panas. Pada persebaran nilai pixel secara vertikal, hal ini ditunjukkan oleh Gambar 4.6 dimana nilai pixel di setiap kolom memiliki nilai yang besar kemudian mengalami penurunan yang relatif konstan. Penurunan tersebut terjadi bersamaan dengan kenaikan nilai pixel di setiap baris yang menandakan terjadinya penjalaran atau perpindahan panas.

## 2. Persebaran Nilai Pixel saat Tegangan $(8,9 \pm 0,1)$ Volt

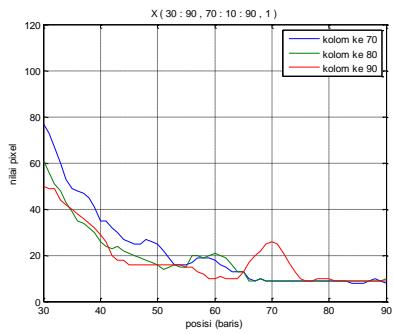
Berikut merupakan persebaran nilai pixel saat diberi tegangan sebesar  $(8,9 \pm 0,1)$  volt.



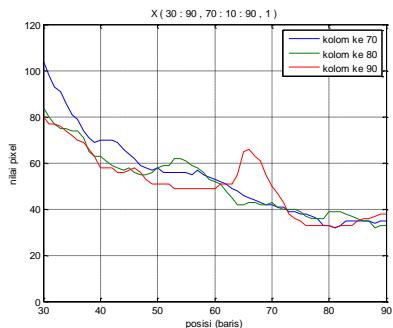
(a)



(b)



(c)



(d)

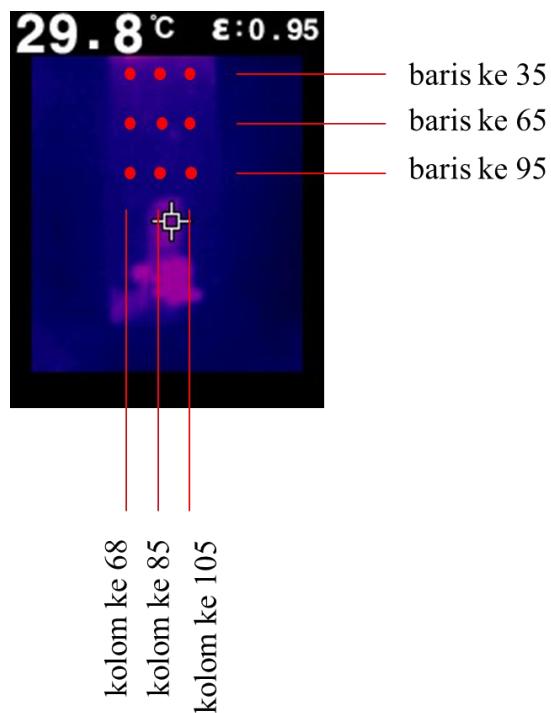
**Gambar 4.7** Grafik persebaran nilai pixel secara vertikal pada kolom ke 70, 80, 90, baris ke 30 hingga 90 saat diberi tegangan sebesar  $(8,9 \pm 0,1)$  volt (a) Menit ke 3 (b) Menit ke 10 (c) Menit ke 20 (d) Menit ke 28

Bila dibandingkan dengan grafik persebaran nilai pixel pada tegangan  $(6,2 \pm 0,1)$  volt, grafik pada tegangan  $(8,9 \pm 0,1)$  volt lebih baik (kenaikan nilai pixel lebih besar) dalam menampilkan peristiwa terjadinya perpindahan panas. Oleh karena itu, analisis perpindahan

panas selanjutnya akan difokuskan pada citra inframerah plat saat diberi tegangan  $(8,9 \pm 0,1)$  volt.

### 3. Perpindahan Panas pada Plat Alumunium dengan Pendekatan Nilai Pixel

Citra inframerah yang diperoleh untuk tegangan  $(8,9 \pm 0,1)$  volt sejumlah 30 citra inframerah. Analisis perpindahan panas melalui pendekatan nilai pixel ini difokuskan hanya di 9 titik yakni pada posisi baris ke 35, 65, 95, kolom ke 68, 85, 105.

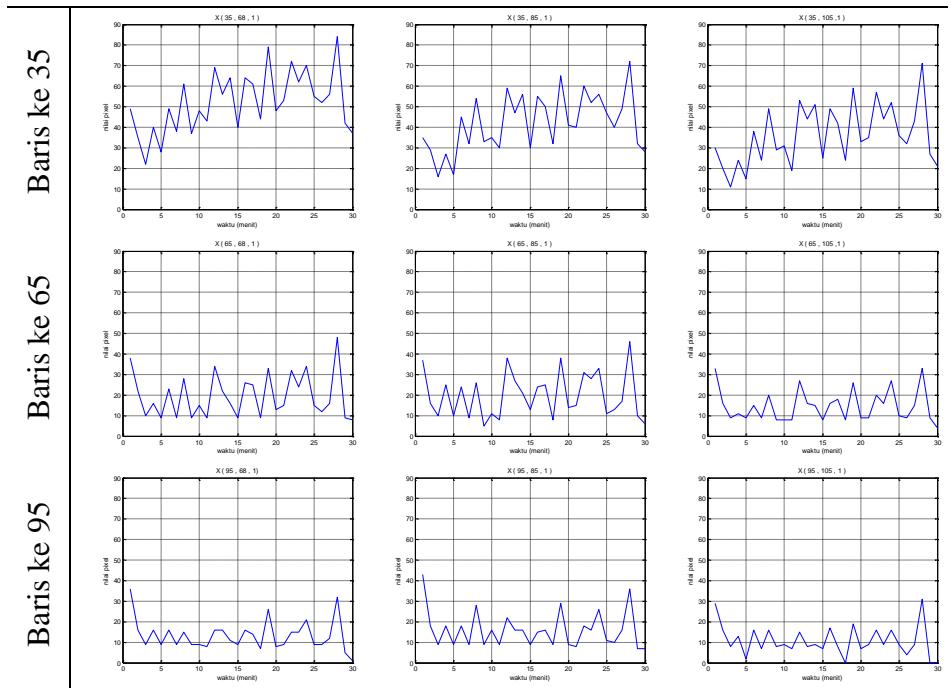


**Gambar 4.8** Posisi titik pada citra inframerah dengan tegangan  $(8,9 \pm 0,1)$  volt di menit ke 17

---

	Kolom ke 68	Kolom ke 85	Kolom ke 105
--	-------------	-------------	--------------

---

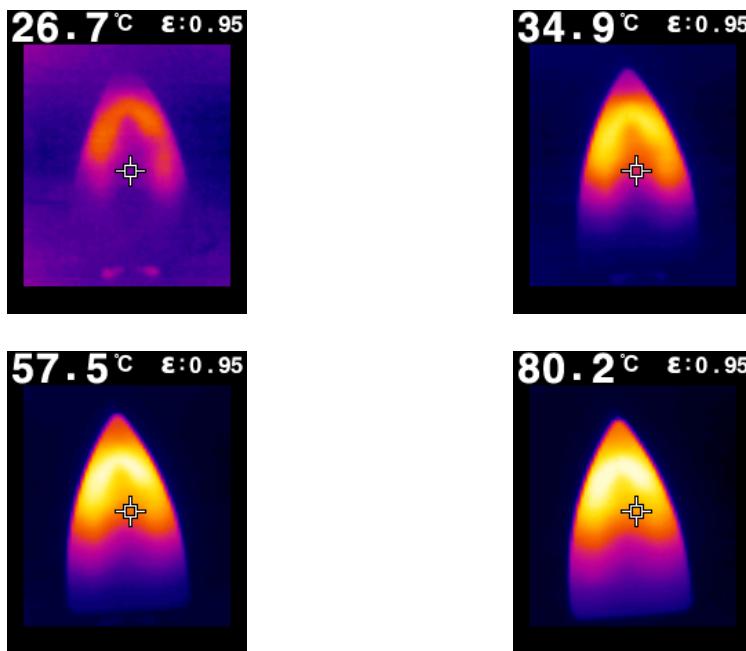


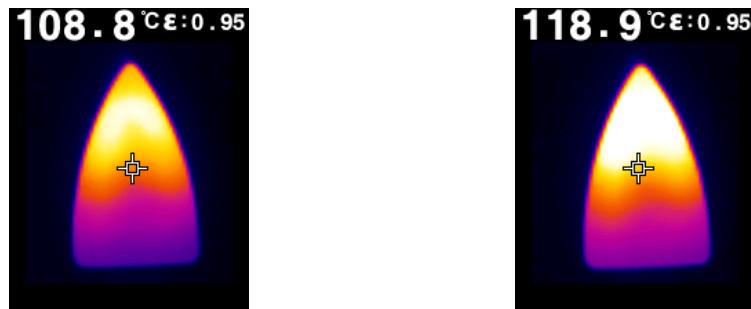
**Gambar 4.9** Grafik perpindahan panas pada 9 titik di baris ke 35, 65, 95, kolom ke 68, 85, 105

Grafik pada baris ke 35 di semua kolom cenderung naik yang menandakan bahwa titik tersebut mengalami kenaikan suhu secara konstan selama proses pemanasan plat yang ditandai dengan kenaikan nilai pixel. Sedangkan grafik pada baris ke 65 dan 95 di semua kolom cenderung konstan namun selisih antar nilai pixel pada baris ke 65 relatif lebih besar dibandingkan grafik pada baris ke 95. Hal ini menandakan bahwa perpindahan panas sudah mencapai daerah pada baris ke 65.

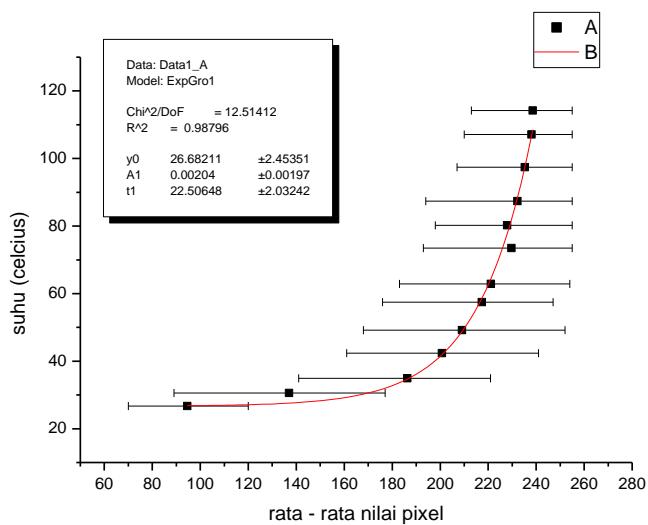
## B. Hubungan antara Nilai Pixel dan Suhu

Pada kamera termal FLIR TG165, suhu yang ditunjukkan pada *display* merupakan suhu di titik tengah dari citra inframerah yang diperoleh (titik pengukuran suhu). Titik tengah tersebut berada pada baris ke 115 hingga 119 dan kolom ke 88 hingga 92 yang menunjukkan 25 posisi pixel. Untuk mencari hubungan antara nilai pixel dan suhu yang terukur oleh kamera, rata – rata dari nilai pixel di 25 posisi tersebut dibuat dalam bentuk grafik sebagai fungsi suhu. Data nilai pixel dan suhu yang digunakan berasal dari data citra inframerah *layer* merah pada setrika. Hal ini dikarenakan data pada titik tengah citra inframerah plat terganggu oleh bayangan kamera dan tangan peneliti. Selain itu, perubahan suhu yang terjadi pada setrika dapat ditangkap dengan baik oleh kamera termal sehingga dapat diketahui bagaimana hubungan antara nilai pixel dan suhu yang diukur oleh kamera termal.





(a)



(b)

**Gambar 4.10** (a) Citra inframerah setrika (b) Grafik hubungan antara nilai pixel dan suhu

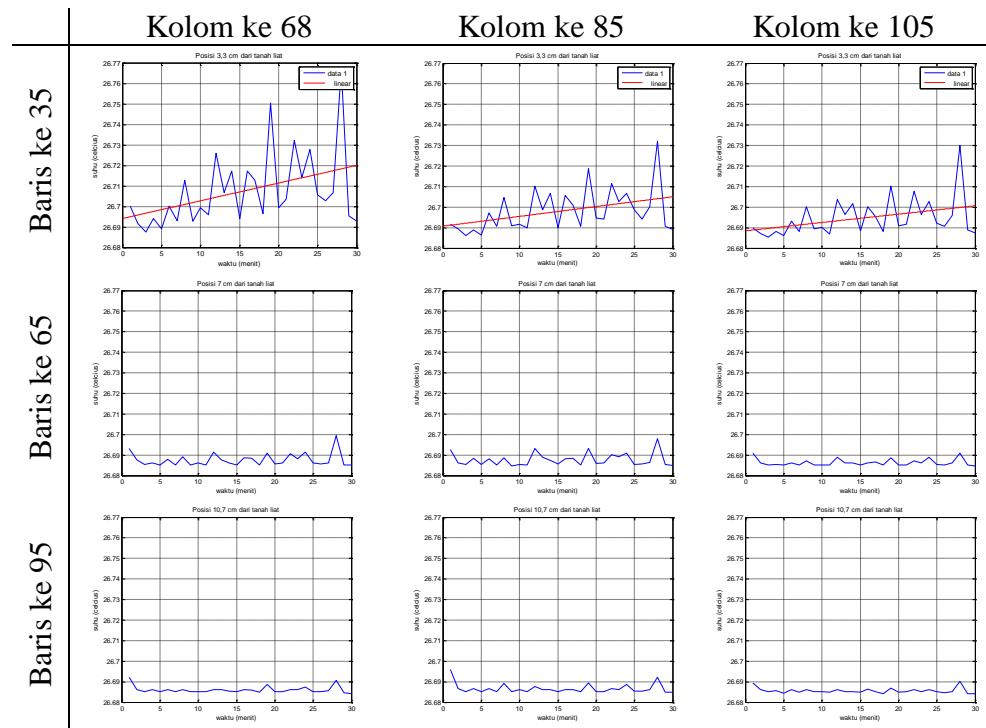
Sumbu  $X$  menunjukkan data rata – rata nilai pixel dan sumbu  $Y$  menunjukkan suhu. Grafik kemudian dianalisis menggunakan *fitting exponential growth* pada aplikasi Origin 6.1 karena pola grafik yang terbentuk dan tipe data yang diperoleh, dimana suhu akan terus naik meskipun nilai pixel telah mencapai nilai maksimum yakni 255.

Fungsi yang didapatkan dari grafik hubungan antara nilai pixel dan suhu adalah sebagai berikut.

$$T = y_0 + A_1 e^{x/t_1}$$

$$T = 26,68211 + 0,00204e^{x/22,50648} \quad (4.1)$$

Bila persamaan (4.1) digunakan pada persebaran nilai pixel di Gambar 4.9 untuk mengonversi suhu, maka grafik yang didapatkan adalah sebagai berikut.



**Gambar 4.11** Grafik perubahan suhu plat selama 30 menit pada 9 titik yang ditentukan

Kenaikan suhu pada baris ke 35 kolom ke 68 sebesar  $0,025^{\circ}\text{C}$ , kolom ke 85 sebesar  $0,015^{\circ}\text{C}$  dan kolom ke 105 sebesar  $0,01^{\circ}\text{C}$ . Meskipun grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 sesuai hasil analisis menggunakan persebaran nilai pixel, suhu pada Gambar 4.11 ini tidak valid. Hal ini karena perbedaan *range* suhu pada citra inframerah setrika dan plat yang diperoleh. Namun, analisis ini tetap dilakukan untuk memberikan gambaran mengenai

suhu sebagai fungsi posisi dan waktu, selain itu juga memberikan gambaran mengenai perbandingan bentuk grafik antara nilai pixel dan suhu terhadap waktu (Gambar 4.9 dan Gambar 4.11).

### C. Analisis Perpindahan Panas Menggunakan Metode *Finite Difference*

Pada subbab sebelumnya, telah dijelaskan bahwa terjadinya perpindahan panas dapat diketahui berdasarkan perubahan nilai pixel dan suhu di 9 titik yang ditentukan. Pada subbab ini, dilakukan perhitungan untuk mencari fungsi suhu dari penelitian yang dilakukan. Melalui perhitungan ini, akan diketahui hubungan antara tegangan, bahan dan ukuran plat yang digunakan terhadap terjadinya perpindahan panas. Suhu dari hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan suhu hasil pengukuran oleh kamera termal untuk mengetahui kebenaran dari fungsi suhu yang diperoleh.

Persamaan suhu untuk kasus *unsteady state/transient* (keadaan tak tunak) dimensi 1 dituliskan sebagai :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\dot{g}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.1)$$

dimana  $\dot{g}$  = laju *heat generation* (watt/m<sup>3</sup>)

$k$  = konduktivitas termal (watt/(mK))

$\alpha = k/\rho C$  = difusivitas termal (m<sup>2</sup>/s)

Laju *heat generation* merupakan laju perubahan energi listrik menjadi energi panas. Perubahan energi ini terjadi pada kawat nikelin yang kemudian panas dari kawat nikelin mengonduksi lapisan tanah liat dan

memanaskan plat alumunium. Laju *heat generation* pada kawat nikelin dapat dicari menggunakan persamaan

$$\dot{g} = \frac{I^2 R}{\pi r^2 l} = \frac{V^2 / R}{\pi r^2 l} \quad (4.2)$$

Laju *heat generation* yang didapatkan melalui persamaan (4.2) kemudian dikalikan sebuah konstanta yang nilainya kurang dari 1 sebagai efek konduksi pada lapisan tanah liat dan plat. Hal ini dilakukan untuk mempersingkat perhitungan sehingga dapat fokus pada analisis perpindahan panas sepanjang plat alumunium. Memperhitungkan panas plat dan lapisan tanah liat ketika disentuh setelah penelitian dilakukan, peneliti mengasumsikan nilai konstanta tersebut sebesar 0,5. Maka besar laju *heat generation* adalah

$$\begin{aligned}\dot{g} &= 0,5 \times \frac{V^2 / R}{\pi r^2 l} = 0,5 \times \frac{8,9^2 / (6,99 \times 1,27)}{3,14 \times (0,00025)^2 \times 1,27} \\ &= 0,5 \times \frac{8,923}{2,492 \times 10^{-7}} = 1,79 \times 10^7 \text{ watt/m}^3\end{aligned}$$

Konduktivitas termal dan difusivitas termal plat alumunium berturut – turut adalah 237 watt/mK (Cengel, 2002 : 20) dan  $97,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  (atau 0,975 cm<sup>2</sup>/s) (Cengel, 2002 : 23). Maka,

$$\frac{\dot{g}}{k} = \frac{1,79 \times 10^7}{237} = 7,553 \times 10^4 \text{ K/m}^2 = 7,526 \text{ }^\circ\text{C/cm}^2$$

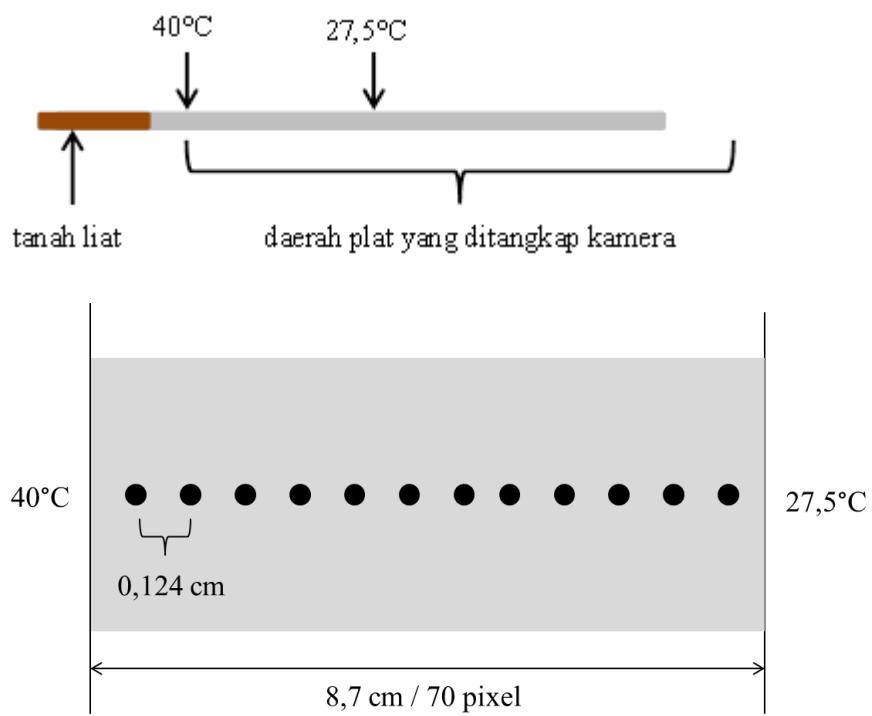
sehingga persamaan (4.1) menjadi

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + 7,526 = \frac{1}{0,975} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.3)$$

Untuk mengetahui nilai  $T$ , analisis dilakukan menggunakan metode numerik pada *software* MATLAB. Berdasarkan persamaan (2.20) mengenai solusi turunan kedua menggunakan metode *finite difference* maka persamaan (4.3) menjadi

$$\frac{\partial T}{\partial t} = 0,975 \times \left( \frac{T_{i+1} - 2T_i + T_{i-1}}{\Delta x^2} \right) + 7,338 \quad (4.4)$$

Suhu awal plat sebelum dilakukan penelitian diasumsikan sama dengan suhu ruangan yakni  $27,5^\circ\text{C}$ . Selain itu, suhu plat pada jarak 2 cm dan 10,7 cm dari tanah liat juga diasumsikan sebesar  $40^\circ\text{C}$  dan  $27,5^\circ\text{C}$ . Asumsi nilai suhu ini didasarkan pada nilai suhu di Gambar 4.11 dan besar tegangan.



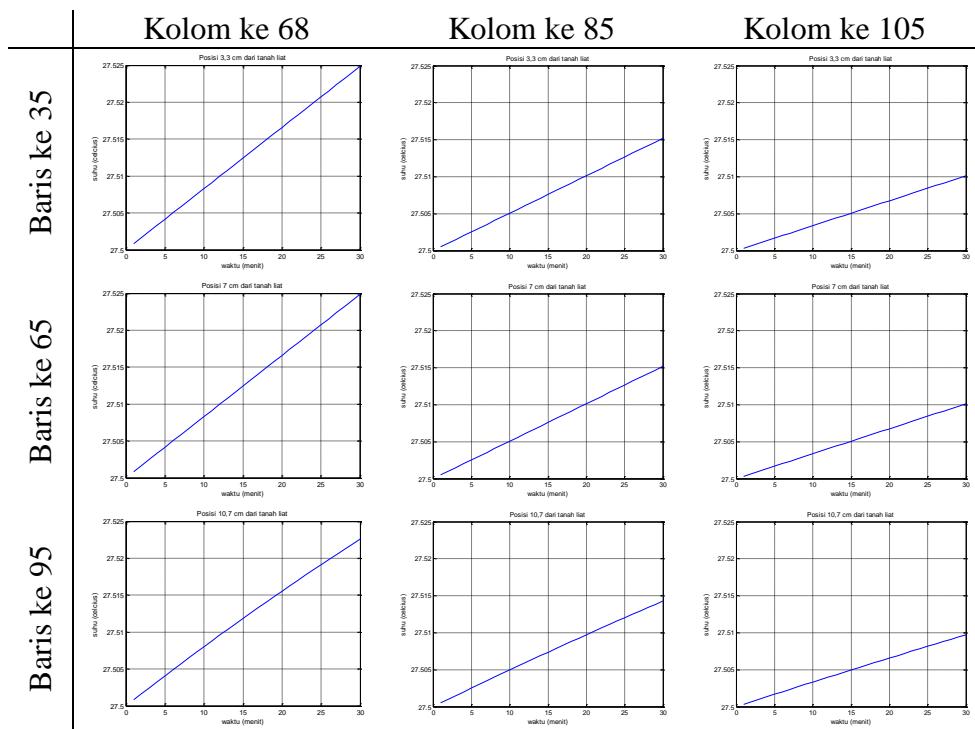
**Gambar 4.12** Pengasumsian suhu plat dan jarak antar titik plat pada metode *finite difference*

Bila

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \text{konstanta} \times T \quad (4.5)$$

maka nilai konstanta dapat dicari dengan metode *trial and error* dimana pada titik yang sama, kenaikan suhu dari perhitungan ini sama atau mendekati kenaikan suhu pada hasil penelitian, nilai konstanta yang memenuhi adalah 0,000113 untuk kolom ke 68, nilai 0,000069 untuk kolom ke 85 dan nilai 0,000046 untuk kolom ke 105 dengan satuan *per menit*.

Grafik yang dihasilkan adalah sebagai berikut.



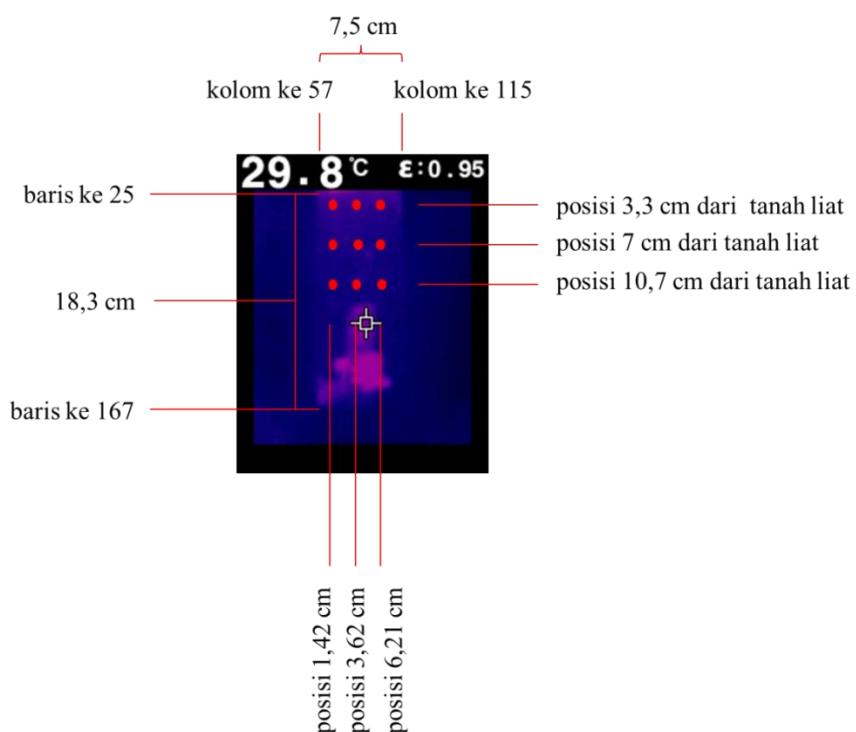
**Gambar 4.13** Grafik hubungan antara suhu dan waktu menggunakan metode *finite difference*

Grafik pada posisi 3,3 cm dan 7 cm dari hasil perhitungan memiliki kenaikan suhu yang cenderung sama, sedangkan pada posisi 10,7 cm kenaikan suhunya lebih rendah. Perbedaan suhu yang kecil ini disebabkan

oleh nilai konstanta yang digunakan pada perhitungan terlalu kecil. Pada Gambar 4.11, suhu pada titik 7 cm dan 10,7 cm cenderung konstan berdasarkan penelitian. Hal ini dikarenakan konversi nilai pixel ke suhu pada persamaan (4.1) yang dilakukan menggunakan data nilai pixel dan suhu pada setrika.

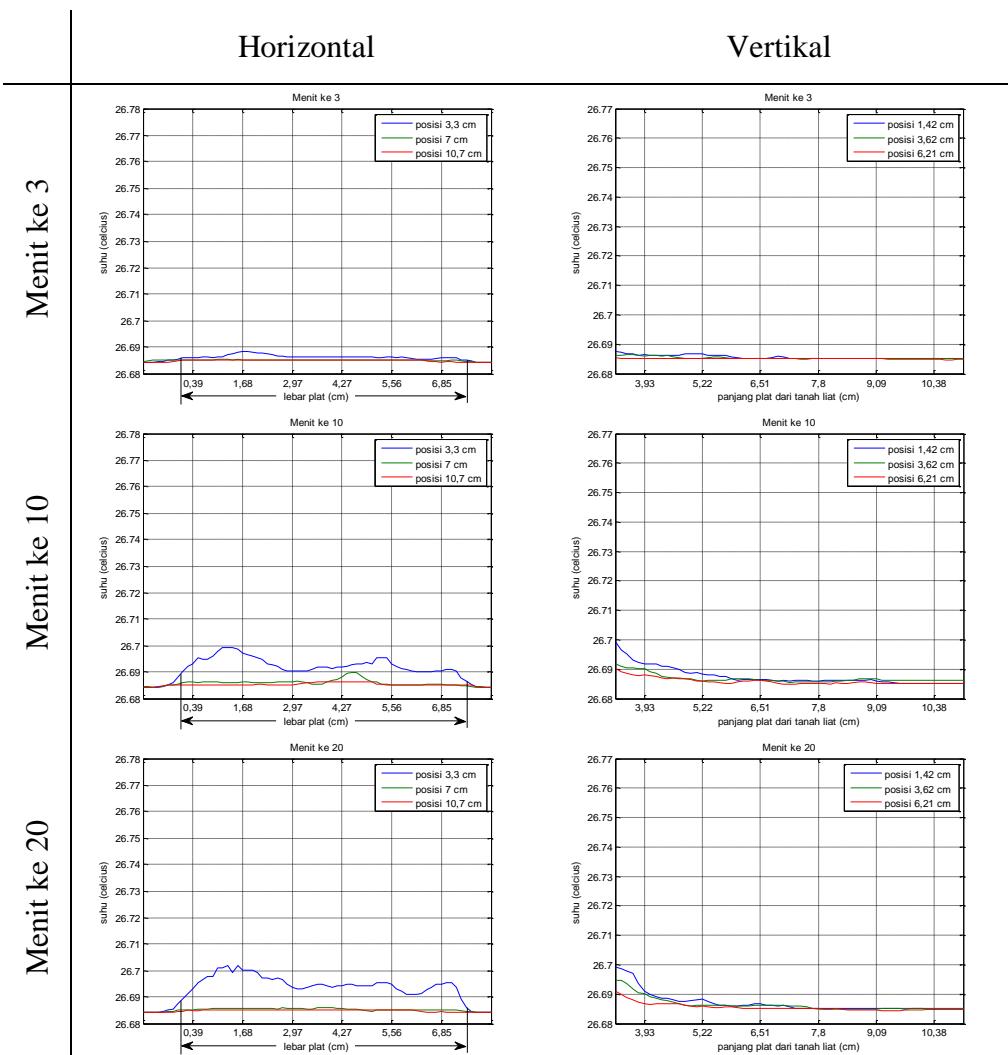
#### D. Konversi Posisi Pixel ke Posisi Sebenarnya

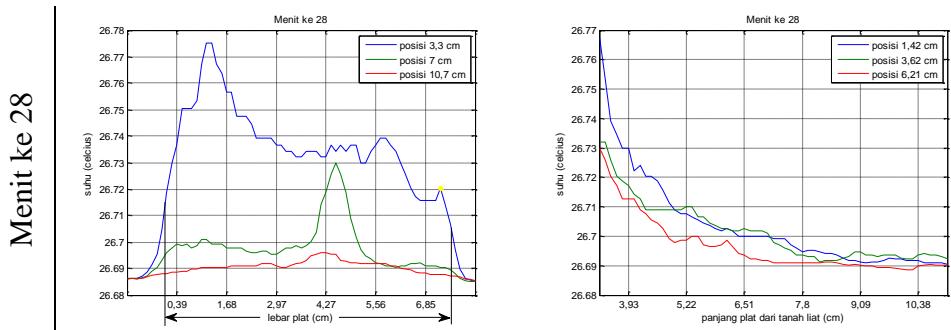
Bila posisi pixel pada 9 titik yang diambil dikonversi ke centimeter, maka berdasarkan data ukuran panjang plat yang ditampilkan kamera dan posisi pixel pada citra inframerah, dilakukan perhitungan menggunakan perbandingan dan didapatkan data posisi sebagai berikut.



**Gambar 4.14** Konversi posisi pixel ke centimeter pada 9 titik analisis persebaran nilai pixel

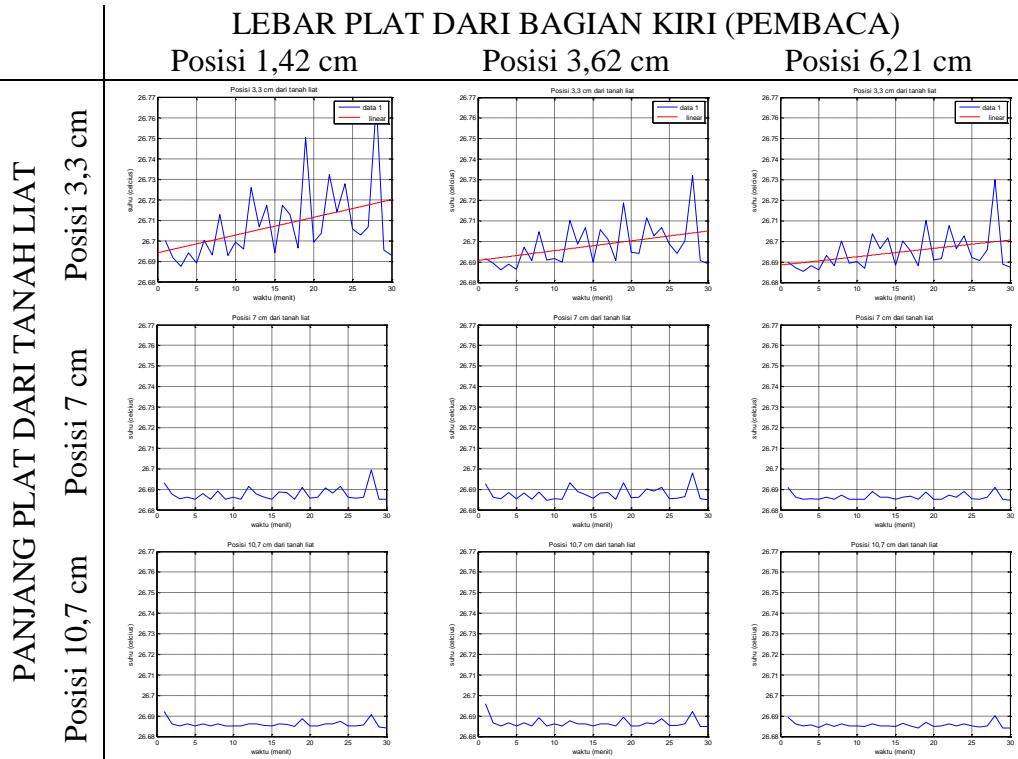
9 titik tersebut dianalisis secara horizontal dan vertikal untuk mengetahui suhu pada titik – titik tersebut menggunakan posisi sebenarnya dalam centimeter. Pada analisis secara horizontal, sumbu X menunjukkan jarak plat dari bagian kiri plat (berdasarkan pembaca) ke titik – titik plat, sedangkan sumbu Y di analisis secara horizontal ataupun vertikal menunjukkan suhu dalam celcius.





**Gambar 4.15** Grafik Suhu pada posisi plat sebenarnya di menit ke 3, 10, 20 dan 28

Pada grafik perubahan suhu selama proses pemanasan di Gambar 4.11, dengan menggunakan posisi sebenarnya maka grafik akan menjadi sebagai berikut.



**Gambar 4.16** Grafik suhu di 9 titik selama proses pemanasan dengan posisi sebenarnya

Penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan pada pelaksanaannya sehingga terdapat data – data pendukung yang tidak ikut terukur atau terdapat data yang tidak dapat digunakan karena kendala – kendala yang sebelumnya tidak dipertimbangkan. Penggunaan bahan yang reflektif ternyata memiliki pengaruh yang besar terhadap konversi nilai pixel ke suhu. Sebelumnya, plat alumunium dipilih hanya karena mudah didapat dan mudah menghantarkan panas. Namun, penggunaan bahan yang reflektif mengakibatkan nilai pixel di titik – titik pada plat terganggu dan tidak dapat digunakan sehingga konversi dilakukan menggunakan data objek lain pada kondisi pengambilan data yang berbeda (suhu ruangan, pencahayaan, dan sebagainya). Selain itu, hal ini juga memberikan kendala pada saat penentuan suhu batas pada posisi 2 cm dari tanah liat. Dikarenakan nilai suhu tertinggi pada Gambar 4.10 tidak lebih tinggi dari suhu ruangan ( $27,5^{\circ}\text{C}$ ), maka peneliti mengasumsikan suhu pada titik tersebut.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. Kesimpulan**

1. Terjadinya perpindahan panas dapat ditandai dengan adanya perubahan suhu ataupun nilai pixel. Setelah plat diberi sumber panas, nilai pixel maupun suhu pada titik – titik plat mengalami kenaikan selama proses pemanasan. Titik yang lebih dekat dengan sumber panas memiliki kenaikan yang lebih signifikan dibandingkan titik yang jauh dari sumber panas.
2. Pada analisis perpindahan panas plat alumunium, perpindahan panas dipengaruhi oleh posisi dan waktu. Panas berpindah dari titik yang dekat dengan sumber panas menuju titik yang jauh dari sumber panas. Selain itu, suhu pada suatu titik juga mengalami kenaikan selama proses pemanasan yang menunjukkan bahwa energi panas pada titik tersebut meningkat terhadap perubahan waktu.

#### **B. Saran**

Untuk mendapatkan hasil konversi yang sesuai dengan kondisi saat penelitian, sebaiknya digunakan objek yang tidak bersifat reflektif. Selain itu, perlu meneliti kembali hal – hal yang dapat mempengaruhi saat pengambilan data untuk mendapatkan data yang baik.

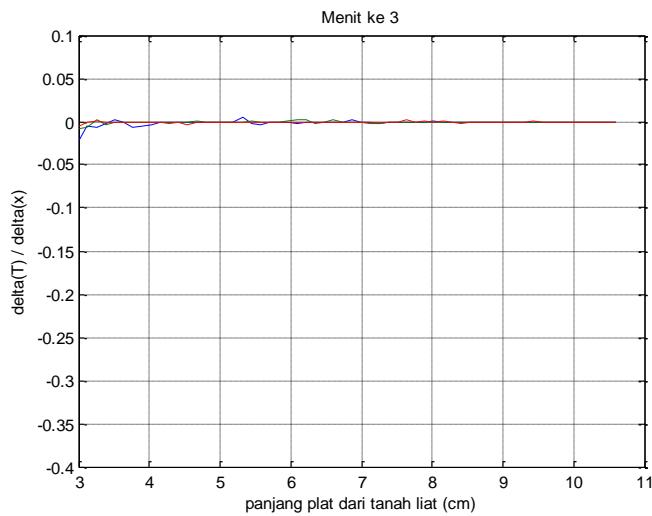
## **DAFTAR PUSTAKA**

- Anonim. *User Manual : FLIR TG165*. FLIR System, Inc. Wilsonville. 2017.
- Cengel, Yunus A. 2002. *Heat Transfer A Practical Approach 2nd Edition*. New York : McGraw-Hill.
- Karwa, Rajendra. 2017. *Heat and Mass Transfer*. Singapore : Springer.
- LeVeque, Randall J. 2007. *Finite Difference Methods for Ordinary and partial Differential Equations*. Philadelphia : Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Welty, James R., Charles E. Wicks, Robert E. Wilson, Gregory Rorrer. 2004. *Transfer Panas*. (Edisi ke-4). Terjemahan oleh Ir. Gunawan Prasetyo. Jakarta : Erlangga

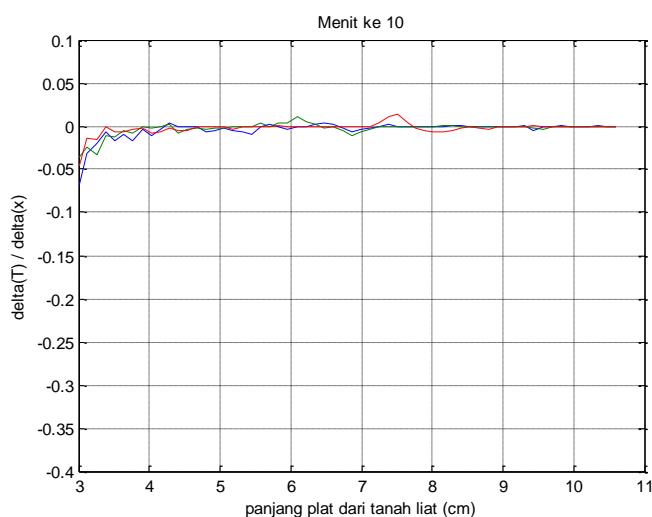
## LAMPIRAN

**Lampiran 1.**  $\Delta T / \Delta x$  sebagai fungsi  $X$  pada persebaran nilai pixel secara vertikal

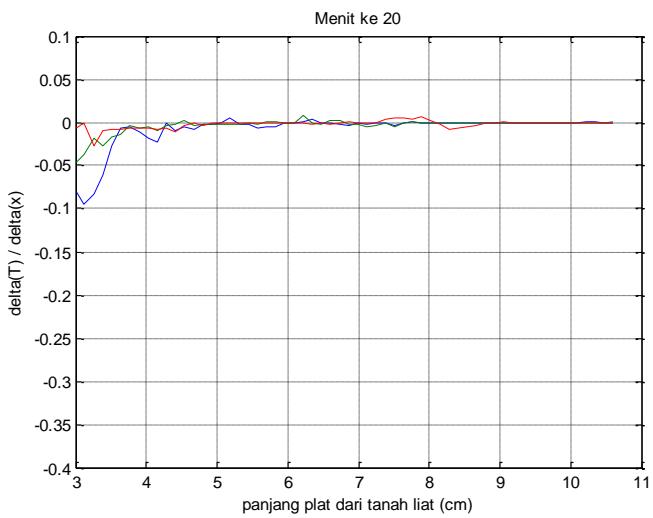
Menit ke 3



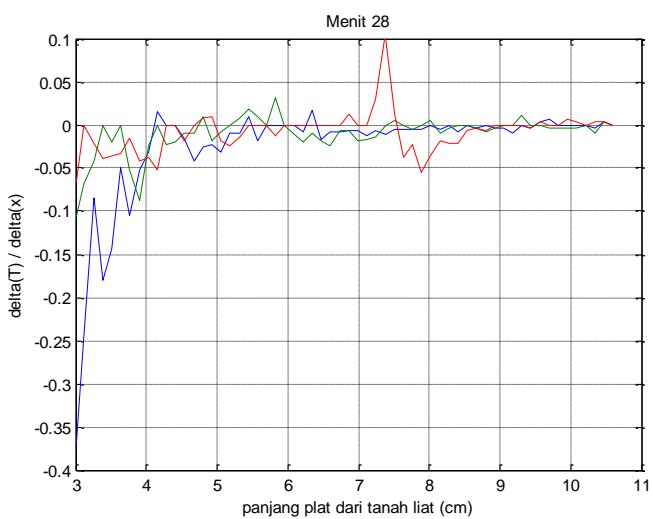
Menit ke 10



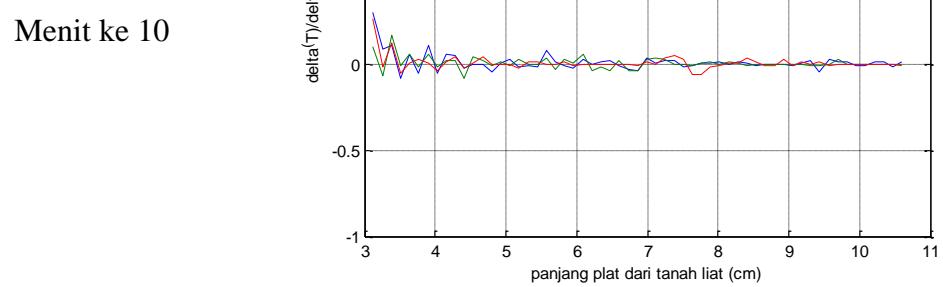
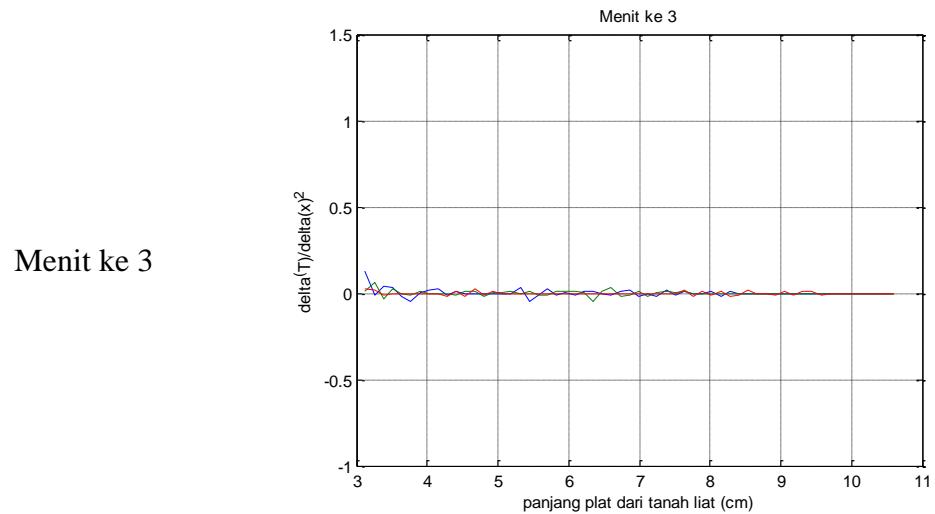
Menit ke 20



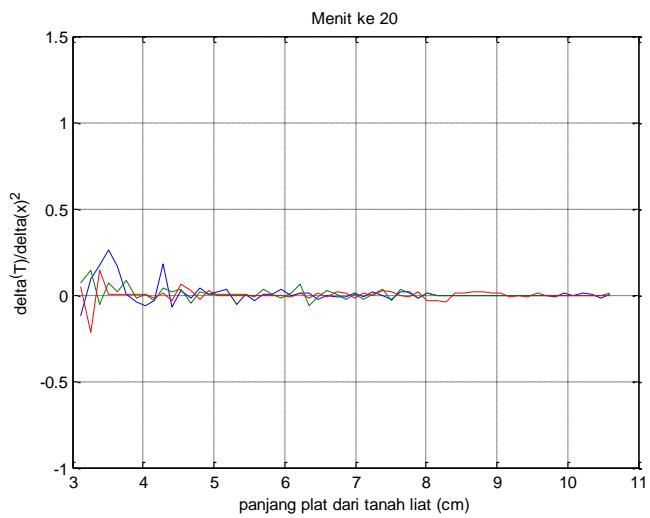
Menit ke 28



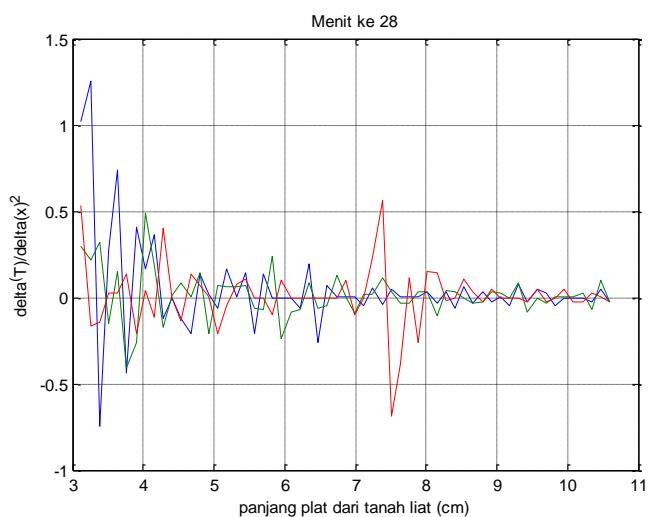
**Lampiran 2.**  $\Delta T / \Delta x$  sebagai fungsi  $X$  pada persebaran nilai pixel secara vertikal



Menit ke 20



Menit ke 28



**Lampiran 3.** Dokumentasi pengambilan data

