



TUGAS AKHIR – SF 184801

Analisis Distribusi Sebaran Panas Pada *Muffle Furnace*

**Ayu Nur Faradilah
NRP 01111440000104**

**Dosen Pembimbing :
Iim Fatimah, M.Si
Diky Anggoro, M.Si**

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”



FINAL PROJECT – SF 184801

Analysis of Heat Distribution in *Muffle Furnace*

**Ayu Nur Faradilah
NRP 01111440000104**

**Advisor :
Iim Fatimah, M.Si
Diky Anggoro, M.Si**

**DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

“This page intentionally left Blank”



TUGAS AKHIR – SF 184801

Analisis Distribusi Sebaran Panas Pada *Muffle Furnace*

**Ayu Nur Faradilah
NRP 01111440000104**

**Dosen Pembimbing :
Iim Fatimah, M.Si
Diky Anggoro, M.Si**

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”



FINAL PROJECT – SF 184801

Analysis of Heat Distribution in *Muffle Furnaces*

**Ayu Nur Faradilah
NRP 01111440000104**

**Advisor
Iim Fatimah, M.Si
Diky Anggoro, M.Si**

**DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS DISTRIBUSI SEBARAN PANAS PADA
MUFFLE FURNACE

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains pada
Bidang Studi Instrumentasi
Program Studi S-1 Departemen Fisika
Fakultas Sains
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

AYU NUR FARADILAH
01111440000104

Disetujui oleh Tim Pembimbing Tugas Akhir :

1. **Iim Fatimah, M.Si** (.....)
(NIP.19870108 201504.2.002)

2. **Diky Anggoro, M.Si** (.....)
(NIP.19850809 201404.1.003)



“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

ANALISIS DISTRIBUSI SEBARAN PANAS PADA *MUFFLE FURNACE*

Nama Mahasiswa : Ayu Nur Faradilah
NRP : 01111440000104
Departemen : Fisika, FS - ITS
Dosen Pembimbing : 1. Iim Fatimah, M.Si
2. Diky Anggoro, M.Si

Abstrak

Dalam peningkatan efisiensi proses produksi diperlukan sistem kendali yang baik. Salah satu contoh sistem kendali dalam bidang produksi adalah proses pemanasan muffle furnace. Sistem kerja pada muffle furnace dalam kondisi tertutup, sehingga sebaran panas didalamnya tidak dapat dilihat oleh mata. Agar dapat mengetahui distribusi sebaran panas didalam muffle furnace, maka perlu dilakukan pemodelan distribusi sebaran panas. Solusi dari distribusi sebaran panas dapat diselesaikan dengan persamaan Laplace menggunakan software GUI MATLAB. Dimensi dari muffle furnace yang dimodelkan adalah 37cmx20cmx18cm. Dengan menggunakan variasi suhu 200°C, 400°C, 600°C, dan 800°C. Diperoleh hasil ketika mencapai suhu $T = 200^\circ\text{C}$ dibutuhkan waktu 540 detik dengan suhu yang berada di tengah berkisar 150°C. Suhu $T = 400^\circ\text{C}$ dibutuhkan waktu 1.800 detik dengan suhu yang berada di tengah berkisar 250°C. Suhu $T = 600^\circ\text{C}$ dibutuhkan waktu 2.400 detik dengan suhu yang berada di tengah berkisar 400°C. Suhu $T = 800^\circ\text{C}$ dibutuhkan waktu 3.000 detik dengan suhu yang berada di tengah berkisar 500°C.

Kata Kunci : Distribusi Sebaran Panas, Muffle Furnace, Persamaan Laplace.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

ANALYSIS OF HEAT DISTRIBUTION IN *MUFFLE* *FURNACE*

Name : Ayu Nur Faradilah
NRP : 01111440000104
Department : Physics, Faculty of Sciences - ITS
Advisor : 1. Iim Fatimah, M.Si
2. Diky Anggoro, M.Si

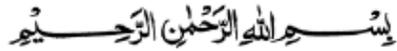
Abstract

In improving the efficiency of the production process a good control system is needed. One example of a control system in the field of production is the process of heating a muffle furnace. The work system on the muffle furnace is closed, so that the heat distribution inside it cannot be seen by the eye. In order to find out the distribution of heat distribution in the muffle furnace, it is necessary to do the distribution of heat distribution modeling. The solution of the heat distribution distribution can be solved with the Laplace equation using the MATLAB GUI software. The dimensions of the muffle furnace modeled are 37cmx20cmx18cm. By using temperature variations of 200°C, 400°C, 600°C, and 800°C. The results obtained when it reaches the temperature of $T = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ takes 540 seconds with temperatures in the middle around 150°C. The temperature of $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ takes 1,800 seconds with the temperature in the middle around 250°C. The temperature of $T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ takes 2,400 seconds with temperatures in the middle around 400°C. Temperature $T = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ takes 3,000 seconds with temperatures in the middle around 500°C.

Keywords : *Heat Distribution, Muffle Furnace, Laplace Equation.*

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat-Nya , petunjuk-Nya atas nikmat iman, islam, dan ikhsan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Distribusi Sebaran Panas Pada Muffle Furnace**” dengan optimal dan waktu yang tepat. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas bantuan, dorongan, dan juga bimbingan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan baik. Sehubungan dengan hal tersebut, maka penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Ibu Iim Fatimah, M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membantu dan memberikan pengarahan selama penelitian, penyusunan laporan dan selalu memberikan dukungan dan motivasinya kepada mahasiswa di lingkungan Laboratorium Elektronika.
2. Bapak Diky Anggoro, M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memfasilitasi dan memberikan pengarahan selama penelitian di lingkungan Laboratorium Elektronika.
3. Kedua Orang Tua dan Adik tercinta yang telah memberikan semua hal terbaik bagi penulis sejak kecil hingga sampai saat ini serta dukungan dan doa yang diberikan kepada penulis.
4. Partner Tugas Akhir Alif Mursyidan Asyrofi yang selalu membantu dan memberikan saran dalam upaya penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Back Partner khususnya Mbak Ira, Azaria, Elia, April, Fara Safira yang telah membantu, memberikan semangat dan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

6. Teman-teman ANTARES dan warga fisika lainnya yang telah memberikan dukungan do'a dan semangat kepada penulis.
7. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari akan adanya kekurangan dalam penulisan laporan ini karena keterbatasan wawasan dan pengetahuan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar lebih baik di masa yang akan datang. Semoga laporan penelitian Tugas Akhir ini dapat berguna dan dimanfaatkan dengan baik sebagai referensi bagi yang membutuhkan serta menjadi sarana pengembangan kemampuan ilmiah bagi semua pihak yang bergerak dalam bidang Fisika Instrumentasi dan Elektronika. Aamiin Ya Rabbal Alamiin.

Surabaya, 23 Juli 2019

Penulis

Ayu Nur Faradilah

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	III
COVER PAGE	V
LEMBAR PENGESAHAN.....	VII
ABSTRAK.....	IX
ABSTRACT	XI
KATA PENGANTAR	XIIXII
DAFTAR ISI.....	XV
DAFTAR GAMBAR	XVIIIVII
DAFTAR TABEL.....	XVIIIIX
DAFTAR LAMPIRAN	XXII
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
1.6 Sistematika Penulisan	2
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Muffle Furnace</i>	5
2.2 Perpindahan Panas.....	7
a. Konduksi	8
b. Konveksi.....	9
c. Radiasi	11
2.3 Metode Penyelesaian	12
2.4 Persamaan Diferensial Laplace.....	13
BAB III.....	17
METODOLOGI	17
3.1 Diagram Alir	17
3.2 Diagram Program Pada Software GUI MATLAB.....	18
3.3 Langkah Menjalankan Program.....	19
BAB IV	23

HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1 Data Yang Diperoleh.....	24
4.2 Pembahasan	32
BAB V.....	35
KESIMPULAN DAN SARAN.....	35
5.1 Kesimpulan	35
5.2 Saran.....	35
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN.....	39
BIODATA PENULIS	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Muffle Furnace</i>	6
Gambar 2.2. Perpindahan Panas Secara Konduksi	8
Gambar 2.3. Perpindahan Panas Secara Konveksi.....	9
Gambar 2.4. Perpindahan Panas Secara Radiasi.....	10
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	17
Gambar 3.2. Diagram Program Pada GUI MATLAB.....	18
Gambar 3.3. Langkah Menjalankan Program	19
Gambar 4.1. Hasil Kontur pada saat $T=200^{\circ}\text{C}$	24
Gambar 4.2. Hasil Grafik pada saat $T=200^{\circ}\text{C}$.....	25
Gambar 4.3. Hasil Kontur pada saat $T=400^{\circ}\text{C}$	26
Gambar 4.4. Hasil Grafik pada saat $T=400^{\circ}\text{C}$.....	27
Gambar 4.5. Hasil Kontur pada saat $T=600^{\circ}\text{C}$	28
Gambar 4.6. Hasil Grafik pada saat $T=600^{\circ}\text{C}$.....	29
Gambar 4.7. Hasil Kontur pada saat $T=800^{\circ}\text{C}$	30
Gambar 4.8. Hasil Grafik pada saat $T=800^{\circ}\text{C}$.....	31

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Waktu yang diperoleh saat pengambilan data.....23

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

1. Listing Program Menggunakan Software GUIMATLAB.39

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem kendali yang baik sangat diperlukan dalam meningkatkan efisiensi dalam proses produksi. Salah satu contoh sistem kendali dalam bidang produksi adalah proses pemanasan *muffle furnace*. Sistem kendali yang baik sangat diperlukan dalam meningkatkan efisiensi dalam proses produksi. Sebagai contoh, dalam bidang industri yaitu proses pemanasan pada furnace. Ada beberapa jenis furnace, yaitu *muffle furnace*, salt bath furnace, tanur vakum, fluidized-bed furnace, dan lain sebagainya.

Muffle furnace merupakan alat yang digunakan untuk menaikkan temperatur fluida dengan menggunakan panas dari hasil pemanasan. Proses pemanasan dilakukan dengan mengalirkan fluida didalam *muffle furnace*. Sistem kerja pada *muffle furnace* dalam kondisi tertutup, sehingga sebaran panas didalamnya tidak dapat dilihat oleh mata. Agar dapat mengetahui distribusi sebaran panas yang ada didalam *muffle furnace*, maka perlu dilakukan pemodelan distribusi sebaran panas. Dilakukan penelitian simulasi dalam bentuk numerik menggunakan software GUI MATLAB, untuk mengetahui distribusi sebaran panas didalam *muffle furnace* dengan persamaan Laplace. Dengan variasi suhu 200°C, 400°C, 600°C, dan 800°C. Dimensi dari *muffle furnace* yang dimodelkan adalah 37cmx20cmx18cm. Hasil yang diperoleh semakin besar suhu yang diberikan, maka semakin besar pula waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu yang diinginkan. Maka akan semakin mudah untuk melihat distribusi sebaran panas didalam *muffle furnace* di tiap kenaikan suhunya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan

permasalahan sebagai berikut:

- a) Bagaimana memodelkan distribusi sebaran panas menggunakan persamaan Laplace?
- b) Bagaimana distribusi sebaran panas didalam *Muffle Furnace*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

- a) Melakukan pemodelan distribusi sebaran panas menggunakan persamaan Laplace.
- b) Mengetahui distribusi sebaran panas didalam *Muffle Furnace*.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, dibatasi beberapa batasan masalah sebagai berikut:

- a) Jenis furnace menggunakan *Muffle Furnace*.
- b) Dimensi 37cmx20cmx18cm.
- c) Proses distribusi sebaran panas ini akan disimulasikan menggunakan *Software* GUI MATLAB.
- d) Suhu yang digunakan adalah suhu 200⁰C, 400⁰C, 600⁰C, dan 800⁰C.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian tugas akhir ini adalah mengetahui proses distribusi sebaran panas didalam *muffle furnace* menggunakan *software* GUI MATLAB dengan persamaan Laplace.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Bab I – Pendahuluan, berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan laporan penelitian.

2. Bab II – Tinjauan Pustaka, berisi uraian mengenai teori yang mendukung analisis.
3. Bab III – Metodologi Penelitian, berisi alat dan bahan, data penelitian, serta uraian mengenai metode-metode dan tahapan-tahapan yang dilakukan selama penelitian.
4. Bab IV – Analisis Data dan Pembahasan, menjelaskan tentang hasil-hasil yang didapat dari pengerjaan pada penelitian ini.
5. Bab V – Kesimpulan dan Saran, berisi uraian mengenai kesimpulan dari hasil analisis data dan pembahasan serta saran-saran yang digunakan untuk mendukung penelitian selanjutnya.
6. Lampiran, listing program menggunakan GUI MATLAB untuk mengetahui distribusi sebaran panas didalam *muffle furnace*.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Muffle Furnace*

Muffle Furnace merupakan salah satu jenis dapur pemanas yang digunakan di bidang teknik pada skala laboratorium. Biasanya *muffle furnace* digunakan untuk memanaskan bahan sesuai dengan kebutuhan. tingkat pemanasan *muffle furnace* bergantung pada jenis Heating Element. *Muffle Furnace* yang digunakan untuk memanaskan bahan hingga suhu 850°C. Sasaran pada penelitian ini adalah mengetahui laju perpindahan kalor yang hilang merambat melalui dinding bata tahan api dan plat baja. Hasilnya didapatkan laju kalor dan suhu yang didapat mencapai 850°C. (Respati, 2009)

Muffle Furnace merupakan alat yang sering digunakan untuk memanaskan bahan, melelehkan bahan, atau sekedar mengeringkan. Meskipun penggunaan *muffle furnace* sederhana, tetapi biaya yang dikeluarkan cukup mahal. *Muffle Furnace* adalah salah satu jenis furnace dimana bahan dan semua produk hasil pembakaran termasuk gas dan abu terisolasi dari bahan bakar. Setelah pengembangan pemanas listrik temperatur tinggi dengan elemen dan elektrifikasi yang berkembang, *muffle furnace* dengan cepat berubah dengan menggunakan listrik. (Adi, 2014)

Muffle Furnace merupakan suatu alat yang berfungsi untuk memancarkan panas didalam ruang tertutup, panas disini diterapkan untuk pemanasan mencapai suhu yang lebih tinggi. Jenis *muffle furnace* ini juga sangat efisien dan ramah lingkungan. Sistem kerja pada *muffle furnace* dalam kondisi tertutup, sehingga sebaran panas didalamnya tidak dapat dilihat oleh mata. Pada proses perpindahan panas didalam *muffle*

furnace terjadi secara konduksi ketika proses perpindahan panas, sumber panas terletak dibagian samping. Untuk perpindahan panas secara konveksi, ketika proses pemanasan yang akan menyebar keseluruh bagian dalam *muffle furnace* yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. *Muffle Furnace*

Muffle Furnace ini memiliki prinsip kerja memanaskan suatu material yang telah dimasukkan kedalam muffle furnace. Ketika diberi elemen pemanas memanaskan material dengan memasukkannya kedalam muffle furnace yang didalamnya terdapat elemen pemanas, termokouple dan keramik. Elemen pemanas tersebut diberi sumber tegangan sehingga menimbulkan panas yang menyebabkan termokouple atau sensor suhu dapat bekerja. Pada dinding furnace diberi keramik agar tahan terhadap suhu tinggi dan material tidak mudah

terbakar.

Karakteristik furnace jenis ini dirancang sedemikian rupa dalam waktu tertentu, sebanyak bahan yang dapat dipanaskan sampai suhu tertentu. Untuk mencapainya, parameter dapat dipertimbangkan sebagai berikut:

- a. Penentuan jumlah panas yang akan didistribusikan.
- b. Pelepasan panas yang cukup dalam furnace untuk memanaskan material.
- c. Suhu kontroller : pengontrol yang dapat diprogram.

(Industri, 2015)

2.2 Perpindahan Panas

Panas adalah suatu bentuk energi yang dipindahkan melalui batas yang ada pada temperatur yang lebih tinggi atau temperatur yang lebih rendah. Perpindahan panas berlangsungnya perpindahan energi karena adanya perbedaan temperature yang berlangsung sampai mencapai kesetimbangan. Kesetimbangan adalah kondisi ketika proses perpindahan panas berhenti yang ditandai dengan kesamaan suhu dari kedua benda yang mengalami proses perpindahan panas. Perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material. Perpindahan panas terjadi karena adanya gaya dorong yaitu perbedaan temperatur. (Holman, 1994)

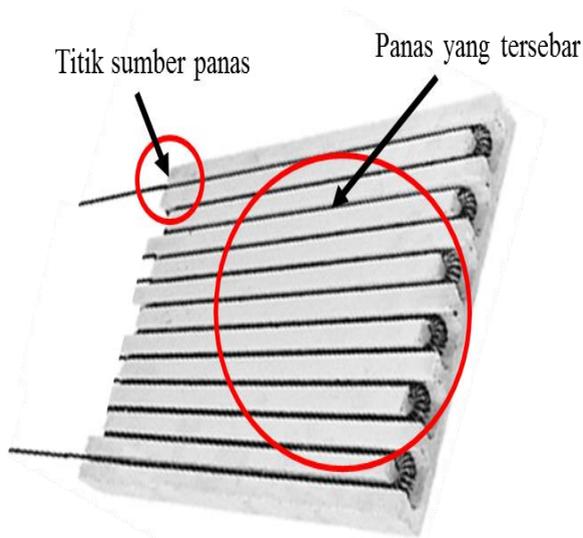
Perpindahan panas merupakan salah satu fenomena dimana energi yang berupa suhu yang panas dapat berpindah dari satu daerah ke daerah yang lain. Hal ini disebabkan karena perbedaan suhu diantara benda atau material.

Pada umumnya dalam perpindahan panas dapat terjadi

melalui tiga macam cara, yaitu sebagai berikut:

a. Konduksi

Konduksi adalah proses perpindahan panas dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah dalam suatu medium-medium (padat), atau antara medium-medium yang bersinggungan secara langsung. Yang paling sederhana yaitu perpindahan panas yang terjadi pada suatu benda. (Holman, 1994) yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Perpindahan panas secara konduksi
(Adi, 2014)

Konduksi adalah proses perpindahan panas dalam suatu medium. Ketika salah satu ujung medium mengalami peningkatan suhu, maka pada bagian yang lainnya juga mengalami peningkatan suhu. Hal tersebut merupakan akibat dari terjadinya perpindahan energi karena molekul medium

tersebut saling berhubungan secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul.

Persamaan konduksi dinyatakan dengan Persamaan sebagai berikut:

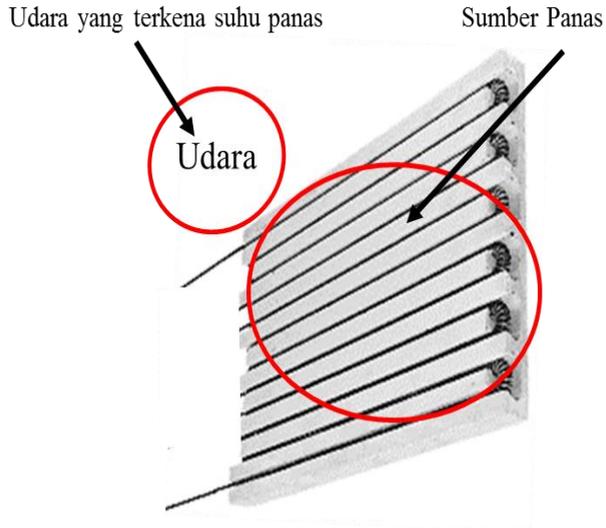
$$q = kA \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

dimana:

- q = Laju perpindahan panas (w),
- A = Luas penampang dimana panas mengalir (m^2),
- $\frac{dT}{dx}$ = Laju perubahan suhu T terhadap jarak dalam arah aliran panas x,
- k = Konduktivitas termal bahan (w/m^0C).

b. Konveksi

Aliran (konveksi) adalah perpindahan panas melalui aliran fluida dengan disertainya perpindahan partikel. Jika partikel yang bertemperatur tinggi berpindah tempat secara mengalir sehingga terjadi perpindahan kalor melalui perpindahan massa. Aliran tersebut dapat berlangsung sebagai akibat perbedaan massa jenis karena perbedaan temperatur. Yang paling sederhana yaitu perpindahan panas oleh gerak partikel-partikel zat yang dipanaskan yang terjadi pada zat berupa (gas). (Holman, 1994) yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Perpindahan panas secara konveksi

(Adi, 2014)

Konveksi adalah melalui proses, panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel fluida yang berbatasan. Kemudian energi yang berpindah akan menaikkan suhu didalam partikel-partikel fluida.

Persamaan konveksi dinyatakan dengan Persamaan sebagai berikut:

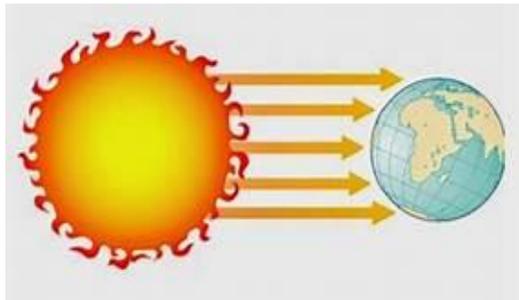
$$q = hA(\Delta T) \quad (2.2)$$

dimana:

- q = Laju perpindahan panas konveksi (w),
- h = Koefisien perpindahan panas konveksi ($w / m^2 \text{ } ^\circ C$),
- A = Luas penampang dimana panas mengalir (m^2),
- ΔT = Perubahan suhu ($^\circ C$).

c. Radiasi

Radiasi dapat diartikan sebagai energi yang dipancarkan dalam bentuk partikel atau gelombang. Pancaran (radiasi) adalah proses perpindahan panas dari benda bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu lebih rendah, bila benda tersebut terpisah di dalam ruang. Yang paling sederhana yaitu perpindahan panas melalui pancaran panas atau gelombang elektromagnetik dari suatu benda ke benda yang lain. (Holman, 1994) yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Perpindahan panas secara radiasi

<http://edhokmigas.blogspot.com/2014/12/proses-perpindahan-panas.html>

Panas yang dirasakan ketika berada di dekat sinar matahari. Kita bisa merasa hangat atau kepanasan ketika berada di dekat sinar matahari karena kalor berpindah dengan cara radiasi dari sinar matahari (suhu lebih tinggi) menuju tubuh kita (suhu lebih rendah). Dengan kata lain kita bias merasakan hangat atau kepanasan karena adanya energi yang berpindah dengan cara radiasi dari sinar matahari menuju tubuh. (Endomigas, 2014)

Dapat juga dikatakan, apabila sejumlah energi kalor menimpa suatu permukaan, sebagian akan dipantulkan, sebagian akan diserap ke dalam bahan, dan sebagian akan menembus bahan dan akan diteruskan. Jadi dalam perpindahan radiasi akan

dilibatkan suatu fisik permukaan. Dan perpindahan radiasi tidak membutuhkan medium. Medium adalah benda-benda yang berfungsi sebagai penghantar kalor. (Endomigas, 2014)

Persamaan radiasi dinyatakan dengan Persamaan sebagai berikut:

$$q = \delta A(T_1^4 - T_2^4) \quad (2.3)$$

dimana:

- δ = Konstanta Stefan-Boltzman ($5,669 \times \frac{10^{-8} \text{w}}{\text{m}^2 \text{k}^4}$),
- A = Luas penampang dimana panas mengalir (m^2),
- T = Temperatur.

2.3 Metode Penyelesaian

2.3.1 Metode Analitik

Metode analitik secara umum adalah metode penyelesaian model matematika dengan rumus-rumus aljabar yang sudah baku.

1. Menggunakan cara yang sudah baku.
2. Hasil berupa suatu fungsi atau relasi.
3. Nilai perhitungan adalah nilai exact (Tepat).
4. Tidak selalu mudah memperoleh solusi, bahkan ada yang tidak dapat di peroleh solusi.

(Charles, 2007)

2.3.2 Metode Numerik

Metode numerik teknik yang digunakan untuk memformulasikan persoalan matematik sehingga dapat diselesaikan dengan operasi aritmatika. Alasan pemakaian metode numerik:

1. Tidak semua permasalahan matematis dapat diselesaikan dengan metode analitik.
2. Jika terdapat penyelesaian secara analitik, mungkin proses penyelesaiannya sangat rumit.
3. Solusi selalu dapat di peroleh dengan bantuan program komputer.

(Harijino, 2000)

2.4 Persamaan Diferensial Laplace

2.4.1 Metode Separasi Variabel

Persamaan diferensial Parsial merupakan persamaan matematik yang memuat suatu fungsi dengan dua atau lebih variabel bebas. (Lam C, 1994)

Persamaan Laplace merupakan salah satu persamaan yang menggambarkan keadaan temperatur didalam *muffle furnace*.

Persamaan Laplace dari fungsi temperatur dinyatakan dengan Persamaan sebagai berikut:

$$\nabla^2 T = 0 \quad (2.4)$$

T merupakan fungsi yang mendiskripsikan distribusi suhu didalam *muffle furnace* dalam koordinat ruang yang diberi sumber panas.

Persamaan Laplace dalam koordinat ruang dua dimensi dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (2.5)$$

Dilakukan teknik Separasi Variabel dengan menganggap bahwa:

$$T = T(x, y) = X(x)Y(y) \quad (2.6)$$

Adalah hasil perkalian dari dua fungsi, yaitu X adalah fungsi dengan peubah bebas x sementara Y adalah fungsi dengan peubah bebas y, dilakukan substitusi Persamaan (2.4) ke Persamaan (2.4):

$$Y \frac{d^2x}{dx^2} + X \frac{d^2y}{dy^2} = 0 \quad (2.7)$$

Karena X hanya bergantung pada x dan Y hanya bergantung pada y, dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{1}{X(x)} \frac{d^2X(x)}{dx^2} + \frac{1}{Y(y)} \frac{d^2Y(y)}{dy^2} = 0 \quad (2.8)$$

Dari Persamaan diatas, didapatkan bahwa:

$$X(x) = A \sin(kx) + B \cos(kx) \quad (2.9)$$

$$Y(y) = C e^{ky} + D e^{-ky} \quad (2.10)$$

Didapatkan solusi umum Persamaan Laplace sebagai berikut:

$$T(x,y) = X(x)Y(y) = [A \sin(kx) + B \cos(kx)][C e^{ky} + D e^{-ky}] \quad (2.11)$$

(Boas, 1983)

2.4.2 Persamaan Diferensial Laplace dengan Metode Solusi Numerik

Penyelesaian Persamaan Laplace dapat dengan metode solusi numerik.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T(x + \Delta x, y) - 2T(x, y) + T(x - \Delta x, y)}{(\Delta x)^2} \quad (2.12)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{T(x + \Delta x, y) - T(x, y)}{\Delta x} \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{T(x, y + \Delta y) - 2T(x, y) + T(x, y - \Delta y)}{(\Delta y)^2} \quad (2.14)$$

$$\frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\Delta T}{\Delta y} = \frac{T(x, y + \Delta y) - T(x, y)}{\Delta y} \quad (2.15)$$

(Bambang, 2002)

Dari Persamaan diatas, maka didapatkan solusi numerik:

$$\nabla^2 T = 0 \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (2.17)$$

$$\frac{T(x + \Delta x, y) - 2T(x, y) + T(x - \Delta x, y)}{(\Delta x)^2} + \frac{T(x, y + \Delta y) - 2T(x, y) + T(x, y - \Delta y)}{(\Delta y)^2} = 0 \quad (2.18)$$

$$\frac{T(x + \Delta x, y) - 2T(x, y) + T(x - \Delta x, y)}{(\Delta x)^2} = \frac{2T(x, y) + T(x, y + \Delta y) - T(x, y - \Delta y)}{(\Delta y)^2} \quad (2.19)$$

Dari Persamaan diatas, penulisan dalam algoritma matematik dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$x_i = i \Delta x \text{ dan } y_j = j \Delta y$$

$$T_{ij} = T(x_i, y_j) \quad (2.20)$$

Jadi turunan kedua u adalah:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{(i+1,j)} - 2T_{(i,j)} + T_{(i-1,j)}}{(\Delta_x)^2} \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{T_{(i,j+1)} - 2T_{(i,j)} + T_{(i,j-1)}}{(\Delta_y)^2} \quad (2.22)$$

Dari bentuk notasi diatas, Persamaan Laplace yang awalnya berbentuk seperti ini:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (2.23)$$

Akan menjadi seperti:

$$\frac{T_{(i+1,j)} - 2T_{(i,j)} + T_{(i-1,j)}}{(\Delta_x)^2} + \frac{T_{(i,j+1)} - 2T_{(i,j)} + T_{(i,j-1)}}{(\Delta_y)^2} = 0 \quad (2.24)$$

Di olah lagi, ambil ($\Delta x = \Delta y$)

$$T_{(i+1,j)} - 2T_{(i,j)} + T_{(i-1,j)} + T_{(i,j+1)} - 2T_{(i,j)} + T_{(i,j-1)} = 0 \quad (2.25)$$

Pada Persamaan Laplace akan berbentuk seperti berikut:

$$T_{(i+1,j)} + T_{(i-1,j)} + T_{(i,j+1)} + T_{(i,j-1)} - 4T_{(i,j)} = 0 \quad (2.26)$$

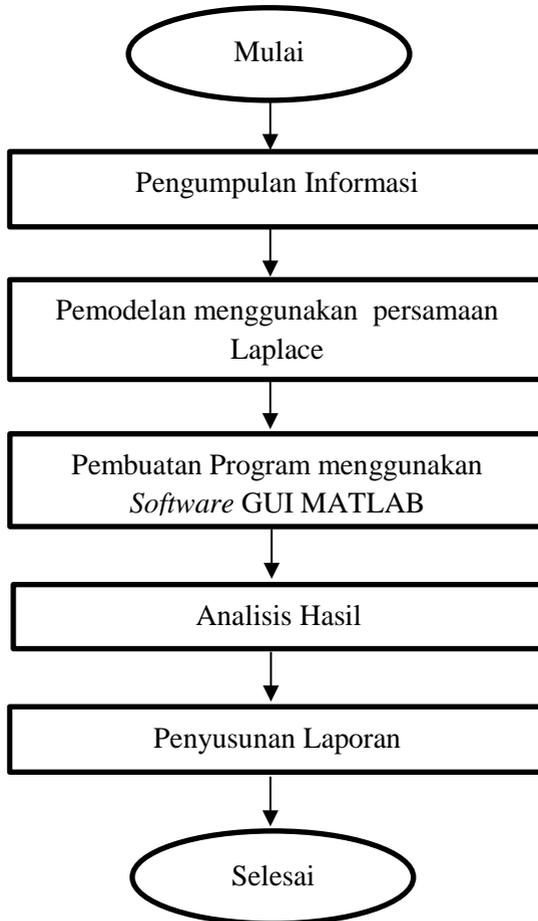
Akan didapatkan solusinya sebagai berikut:

$$T_{i,j} = \frac{1}{4} T_{(i+1,j)} + T_{(i-1,j)} + T_{(i,j+1)} + T_{(i,j-1)} \quad (2.27)$$

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir

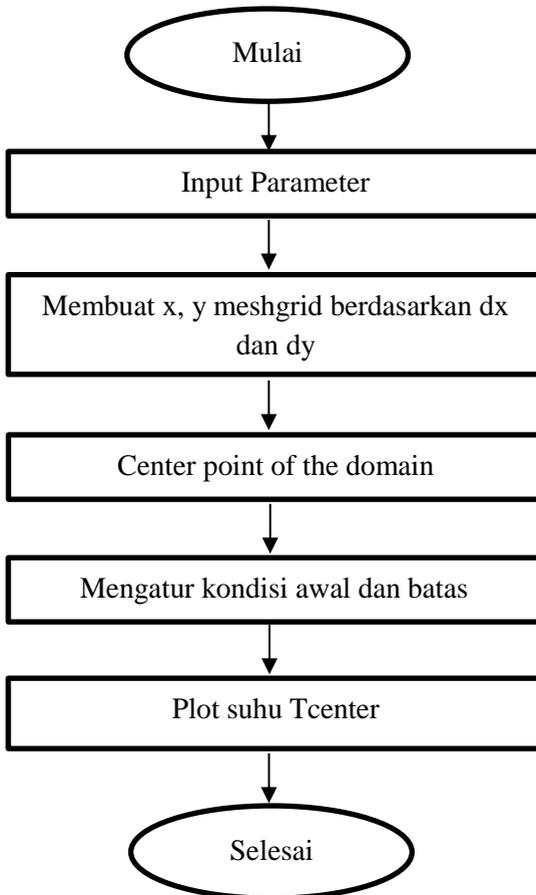
Diagram alir penelitian dijelaskan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.2 Diagram Program Pada Software GUI MATLAB

Diagram program software GUI MATLAB dijelaskan pada Gambar 3.2.



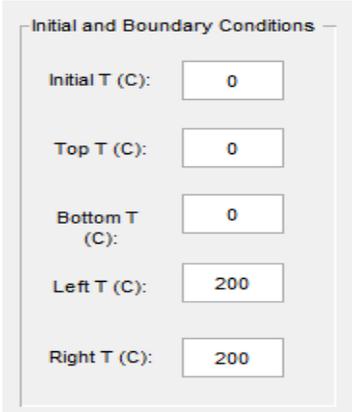
Gambar 3.2. Diagram Program GUI MATLAB

Pembuatan program dalam penelitian ini dengan melalui tahap yang pertama menginput parameter seperti lebar, tinggi, dx, dan dy pada *muffle furnace*. Tahap yang kedua memasukkan syarat dan kondisi batas yang akan digunakan dengan $T_{\text{awal}} = 0$, $T_{\text{atas}} = 0$, $T_{\text{bawah}} = 0$, $T_{\text{kiri}} = 200^{\circ}\text{C}$, dan $T_{\text{kanan}} = 200^{\circ}\text{C}$. Dengan menggunakan variasi suhu $T = 400^{\circ}\text{C}$, $T = 600^{\circ}\text{C}$, dan $T = 800^{\circ}\text{C}$. Tahap selanjutnya untuk mengetahui distribusi sebaran panas menggunakan persamaan Laplace maka akan didapatkan dengan metode solusi numerik. Tahap terakhir dilakukan pengeplotan grafik untuk menganalisa distribusi sebaran panas didalam *muffle furnace* yang berada di tengah dan mengetahui pada tiap kenaikan suhu sehingga mencapai suhu yang ingin tercapai.

3.3 Langkah Menjalankan Program

Langkah menjalankan program pada *software* GUI MATLAB ditunjukkan pada Gambar 3.3, 3.4, dan 3.5.

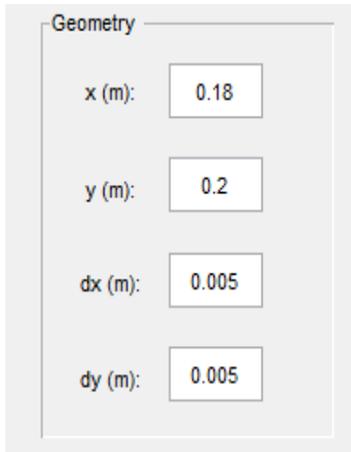
1. Menentukan kondisi batas pada program GUI MATLAB



Initial and Boundary Conditions	
Initial T (C):	0
Top T (C):	0
Bottom T (C):	0
Left T (C):	200
Right T (C):	200

Gambar 3.3. Untuk menentukan kondisi batas Left T(C) dan Right T(C) pada program GUI MATLAB

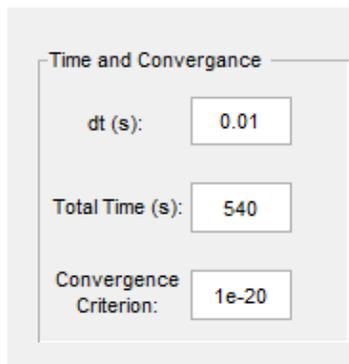
2. Menentukan lebar dan tinggi serta grid yang digunakan



Geometry	
x (m):	0.18
y (m):	0.2
dx (m):	0.005
dy (m):	0.005

Gambar 3.4. Untuk menentukan x (tinggi), y (lebar) *muffle furnace*, lebar grid yang digunakan $dx(m)$ dan $dy(m)$.

3. Menentukan waktu untuk mencapai set point



Time and Convergence	
dt (s):	0.01
Total Time (s):	540
Convergence Criterion:	1e-20

Gambar 3.5. Untuk mengeset $dt(s)$ tiap kenaikan suhu, total time(s) waktu yang telah diperoleh, convergence criterion ketelitian pada grid.

Untuk mengetahui distribusi panas dilakukan dengan cara ditunjukkan pada Gambar 3.3, memisalkan kondisi batas yang didapatkan dari persamaan diferensial parsial menggunakan persamaan Laplace. Pada Gambar 3.4, lebar dan tinggi yang diperoleh dari dimensi *muffle furnace* yang digunakan, serta memisalkan grid untuk mengetahui ketelitian saat proses distribusi sebaran panas didalam *muffle furnace*. Pada Gambar 3.5, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu yang ingin dicapai. Convergence criterion 1×10^{20} , proses distribusi sebaran panas. Sehingga diperoleh hasil distribusi sebaran panas dalam bentuk kontur dan grafik di tiap kenaikan suhu mencapai set point untuk mengetahui kondisi bagian tengah apabila sumber pemanas terletak di bagian samping.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Software GUI MATLAB digunakan untuk menampilkan distribusi panas dengan persamaan diferensial parsial menggunakan persamaan Laplace. Pada program dibuat saat $T = 200^{\circ}\text{C}$, $T = 400^{\circ}\text{C}$, $T = 600^{\circ}\text{C}$, dan $T = 800^{\circ}\text{C}$ dengan sumber panas berada disamping-samping untuk mengetahui suhu setiap kenaikan suhu tersebut. Agar proses distribusi panas yang berlangsung dapat diamati. Bentuk distribusi sebaran panas digambarkan dalam bentuk kontur yang menyatakan besarnya suhu dalam derajat celcius ($^{\circ}\text{C}$) ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Waktu yang diperoleh saat pengambilan data

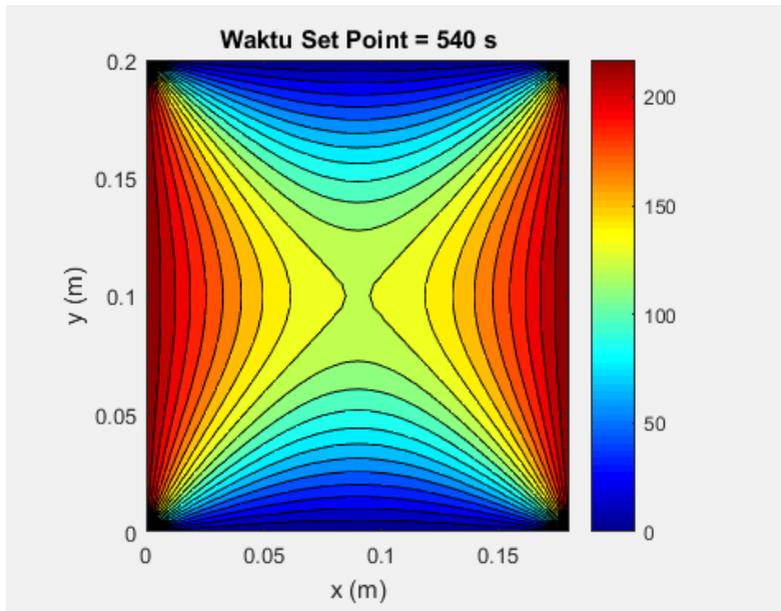
No	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Waktu (s)
1	200	540
2	400	1.800
3	600	2.400
4	800	3.000

Ditunjukkan pada Tabel 4.1, bahwa saat suhu $T = 200^{\circ}\text{C}$ waktu yang dibutuhkan sekitar 540 detik, saat $T = 400^{\circ}\text{C}$ waktu yang dibutuhkan sekitar 1.800 detik, saat $T = 600^{\circ}\text{C}$ waktu yang dibutuhkan sekitar 2.400 detik, dan saat $T = 800^{\circ}\text{C}$ waktu yang dibutuhkan sekitar 3.000 detik.

4.1 Data Yang Diperoleh

4.1.1 Hasil distribusi sebaran panas dalam bentuk kontur pada saat $T=200^{\circ}\text{C}$

Hasil distribusi sebaran panas didalam muffle furnace ditunjukkan pada Gambar 4.2.



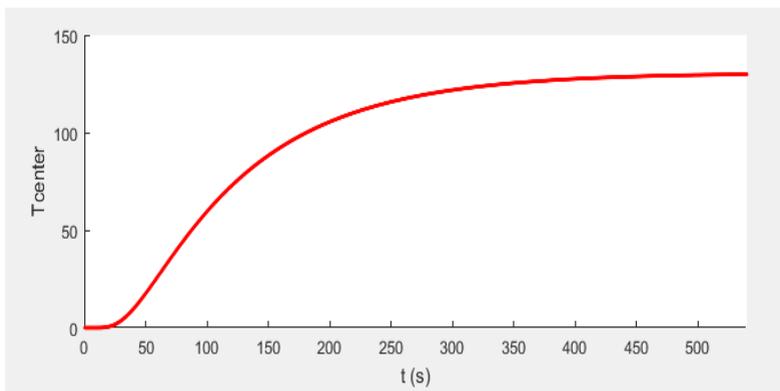
Gambar 4.1. Kontur distribusi sebaran panas saat $T = 200^{\circ}\text{C}$

Terlihat sebaran panas dengan sumber pemanas terletak pada bagian samping (kiri dan kanan) bagian tersebut yang paling panas ditunjukkan kontur berwarna merah gelap pada *muffle furnace* dan panas yang paling rendah ditunjukkan kontur berwarna biru. Dapat dilihat pada Gambar 4.1 saat $T = 200^{\circ}\text{C}$ dengan di tiap kenaikan dibutuhkan waktu 540 detik. Hal ini disebabkan karena sumber

pemanas terletak pada bagian samping, sehingga sebaran panasnya tidak merata mencapai set point. Apabila sumber pemanas terletak disemua sisi akan lebih terlihat sebaran panasnya menyeluruh mencapai set point. Hal ini ditandai dengan terjadinya perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin. Nilai suhu yang ditunjukkan pada gambar diatas adalah dalam satuan Celcius($^{\circ}\text{C}$), dimana nilai tersebut merupakan suhu yang terjadi di dalam *muffle furnace*. Dari hasil yang diperoleh, nilai suhu pada dinding sumber panas lebih tinggi dibandingkan dengan suhu sekitar *muffle furnace*.

4.1.2 Menunjukkan suhu di tengah pada saat $T=200^{\circ}\text{C}$

Hasil grafik distribusi sebaran panas didalam *muffle furnace* ditunjukkan pada Gambar 4.2.



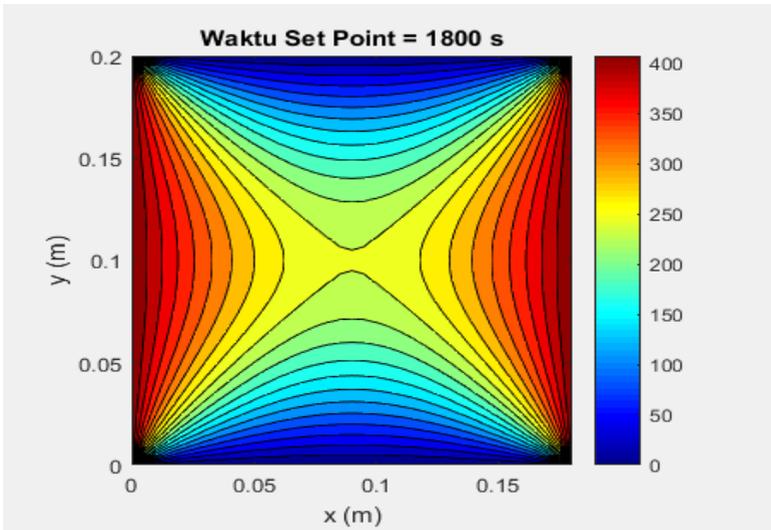
Gambar 4.2. Grafik di tiap kenaikan suhu $T = 200^{\circ}\text{C}$

Grafik menunjukkan bahwa ketika mengeset waktu yang diperoleh saat mencapai suhu $T = 200^{\circ}\text{C}$ di bagian time and convergence pada GUI MATLAB (total time). Dapat dilihat pada Gambar 4.2 saat 0-100 akan terus mengalami kenaikan dibutuhkan waktu selama 540 detik dengan suhu yang berada di tengah berkisar

150°C. Saat grafik mengalami kenaikan, maka akan terus mengalami kenaikan sampai mencapai set point. Didapatkan bahwa mengetahui proses distribusi panas dapat berlangsung karena adanya perpindahan panas secara konveksi. Hal ini disebabkan karena semakin besar suhu yang diberikan, maka semakin besar pula waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu yang diinginkan.

4.1.3 Hasil distribusi sebaran panas dalam bentuk kontur pada saat $T=400^{\circ}\text{C}$

Hasil distribusi sebaran panas didalam *muffle furnace* ditunjukkan pada Gambar 4.3.



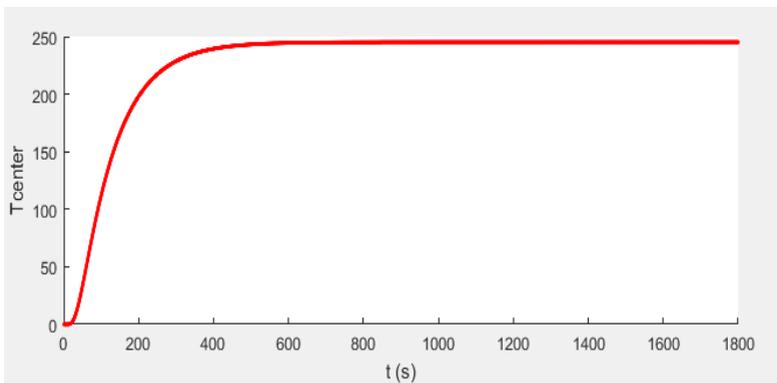
Gambar 4.3. Kontur distribusi sebaran panas saat $T = 400^{\circ}\text{C}$

Terlihat sebaran panas dengan sumber pemanas terletak pada bagian samping (kiri dan kanan) bagian tersebut yang paling panas ditunjukkan kontur berwarna merah gelap pada *muffle furnace* dan panas yang paling rendah ditunjukkan kontur berwarna biru. Dapat

dilihat pada Gambar 4.3 saat $T = 400^{\circ}\text{C}$ dengan di tiap kenaikan dibutuhkan waktu 1.800 detik. Hal ini disebabkan karena sumber pemanas terletak pada bagian samping, sehingga sebaran panasnya tidak merata mencapai set point. Apabila sumber pemanas terletak disemua sisi akan lebih terlihat sebaran panasnya menyeluruh mencapai set point. Hal ini ditandai dengan terjadinya perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin. Nilai suhu yang ditunjukkan pada gambar diatas adalah dalam satuan Celcius($^{\circ}\text{C}$), dimana nilai tersebut merupakan suhu yang terjadi di dalam *muffle furnace*. Dari hasil yang diperoleh, nilai suhu pada dinding sumber panas lebih tinggi dibandingkan dengan suhu sekitar *muffle furnace*.

4.1.4 Menunjukkan suhu di tengah pada saat $T=400^{\circ}\text{C}$

Hasil grafik distribusi sebaran panas didalam *muffle furnace* ditunjukkan pada Gambar 4.4.



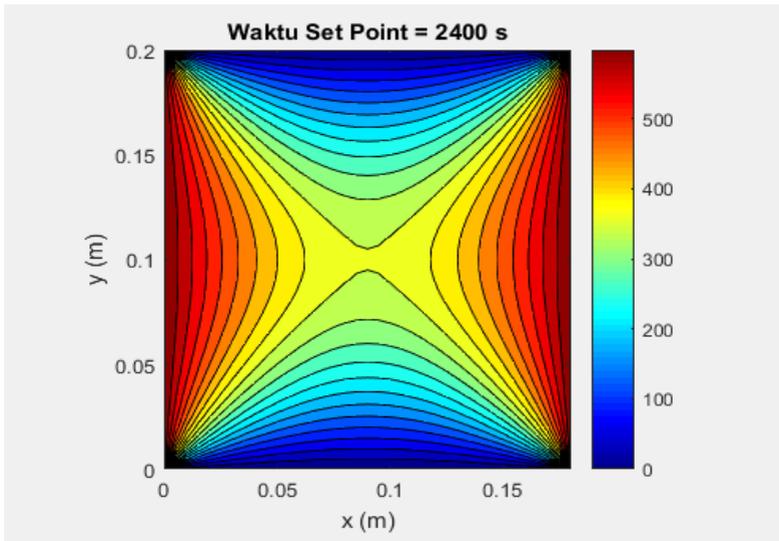
Gambar 4.4. Grafik di tiap kenaikan suhu $T = 400^{\circ}\text{C}$

Grafik menunjukkan bahwa ketika mengeset waktu yang diperoleh saat mencapai suhu $T = 200^{\circ}\text{C}$ di bagian time and convergance pada GUI MATLAB (total time). Dapat dilihat pada Gambar 4.4 saat 0-200 akan terus mengalami kenaikan dibutuhkan

waktu selama 1.800 detik dengan suhu yang berada di tengah berkisar 250°C . Saat grafik mengalami kenaikan, maka akan terus mengalami kenaikan sampai mencapai set point. Didapatkan bahwa mengetahui proses distribusi panas dapat berlangsung karena adanya perpindahan panas secara konveksi. Hal ini disebabkan karena semakin besar suhu yang diberikan, maka semakin besar pula waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu yang diinginkan.

4.1.5 Hasil distribusi sebaran panas dalam bentuk kontur pada saat $T=600^{\circ}\text{C}$

Hasil distribusi sebaran panas didalam *muffle furnace* ditunjukkan pada Gambar 4.5.



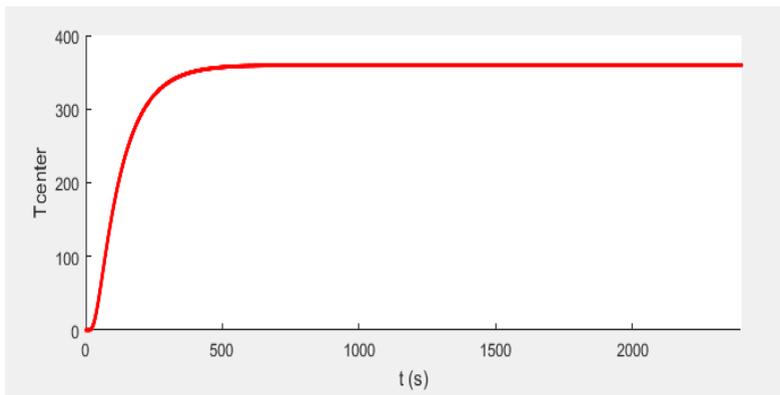
Gambar 4.5. Kontur distribusi sebaran panas saat $T = 600^{\circ}\text{C}$

Terlihat sebaran panas dengan sumber pemanas terletak pada bagian samping (kiri dan kanan) bagian tersebut yang paling panas

ditunjukkan kontur berwarna merah gelap pada *muffle furnace* dan panas yang paling rendah ditunjukkan kontur berwarna biru. Dapat dilihat pada Gambar 4.5 saat $T = 600^{\circ}\text{C}$ dengan di tiap kenaikan dibutuhkan waktu 2.400 detik. Hal ini disebabkan karena sumber pemanas terletak pada bagian samping, sehingga sebaran panasnya tidak merata mencapai set point. Apabila sumber pemanas terletak disemua sisi akan lebih terlihat sebaran panasnya menyeluruh mencapai set point. Hal ini ditandai dengan terjadinya perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin. Nilai suhu yang ditunjukkan pada gambar diatas adalah dalam satuan Celcius($^{\circ}\text{C}$), dimana nilai tersebut merupakan suhu yang terjadi di dalam *muffle furnace*. Dari hasil yang diperoleh, nilai suhu pada dinding sumber panas lebih tinggi dibandingkan dengan suhu sekitar *muffle furnace*.

4.1.6 Menunjukkan suhu di tengah pada saat $T=600^{\circ}\text{C}$

Hasil grafik distribusi sebaran panas didalam *muffle furnace* ditunjukkan pada Gambar 4.6.



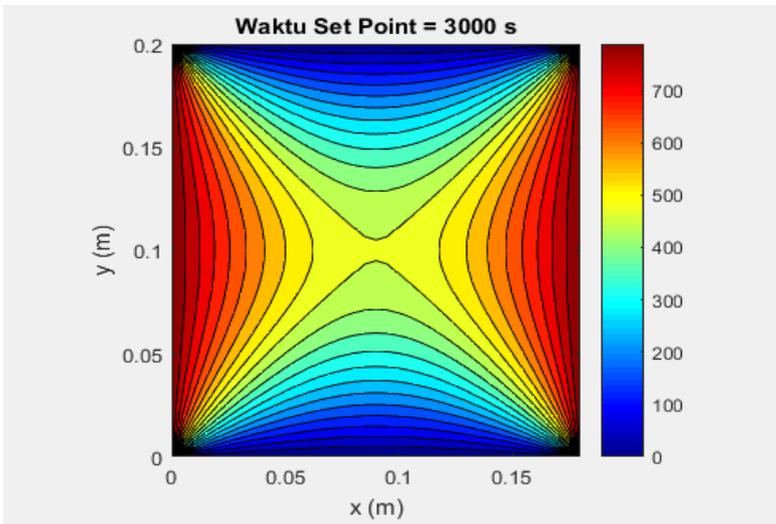
Gambar 4.6. Grafik di tiap kenaikan suhu $T = 600^{\circ}\text{C}$

Grafik menunjukkan bahwa ketika mengeset waktu yang

diperoleh saat mencapai suhu $T = 200^{\circ}\text{C}$ di bagian time and convergance pada GUI MATLAB (total time). Dapat dilihat pada Gambar 4.6 saat 0-500 akan terus mengalami kenaikan dibutuhkan waktu selama 2.400 detik dengan suhu yang berada di tengah berkisar 400°C . Saat grafik mengalami kenaikan, maka akan terus mengalami kenaikan sampai mencapai set point. Didapatkan bahwa mengetahui proses distribusi panas dapat berlangsung karena adanya perpindahan panas secara konveksi. Hal ini disebabkan karena semakin besar suhu yang diberikan, maka semakin besar pula waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu yang diinginkan.

4.1.7 Hasil distribusi sebaran panas dalam bentuk kontur pada saat $T=800^{\circ}\text{C}$

Hasil distribusi sebaran panas didalam *muffle furnace* ditunjukkan pada gambar 4.7.

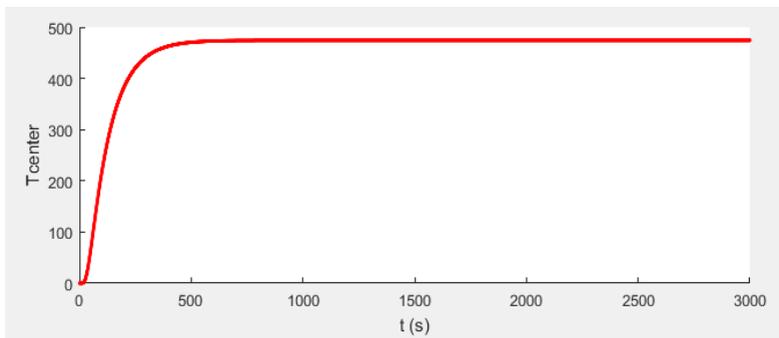


Gambar 4.7. Kontur distribusi sebaran panas saat $T = 800^{\circ}\text{C}$

Terlihat sebaran panas dengan sumber pemanas terletak pada bagian samping (kiri dan kanan) bagian tersebut yang paling panas ditunjukkan kontur berwarna merah gelap pada *muffle furnace* dan panas yang paling rendah ditunjukkan kontur berwarna biru. Dapat dilihat pada Gambar 4.7 saat $T = 800^{\circ}\text{C}$ dengan di tiap kenaikan dibutuhkan waktu 3.000 detik. Hal ini disebabkan karena sumber pemanas terletak pada bagian samping, sehingga sebaran panasnya tidak merata mencapai set point. Apabila sumber pemanas terletak disemua sisi akan lebih terlihat sebaran panasnya menyeluruh mencapai set point. Hal ini ditandai dengan terjadinya perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin. Nilai suhu yang ditunjukkan pada gambar diatas adalah dalam satuan Celcius($^{\circ}\text{C}$), dimana nilai tersebut merupakan suhu yang terjadi di dalam *muffle furnace*. Dari hasil yang diperoleh, nilai suhu pada dinding sumber panas lebih tinggi dibandingkan dengan suhu sekitar *muffle furnace*.

4.1.8 Menunjukkan suhu di tengah pada saat $T=800^{\circ}\text{C}$

Hasil grafik distribusi sebaran panas didalam *muffle furnace* ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Grafik di tiap kenaikan suhu $T = 800^{\circ}\text{C}$

Grafik menunjukkan bahwa ketika mengeset waktu yang

diperoleh saat mencapai suhu $T = 200^{\circ}\text{C}$ di bagian time and convergance pada GUI MATLAB (total time). Dapat dilihat pada Gambar 4.8 saat 0-500 akan terus mengalami kenaikan dibutuhkan waktu selama 3.000 detik dengan suhu yang berada di tengah berkisar 500°C . Saat grafik mengalami kenaikan, maka akan terus mengalami kenaikan sampai mencapai set point. Didapatkan bahwa mengetahui proses distribusi panas dapat berlangsung karena adanya perpindahan panas secara konveksi. Hal ini disebabkan karena semakin besar suhu yang diberikan, maka semakin besar pula waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu yang diinginkan.

4.2 Pembahasan

Pada hasil kontur yang ditunjukkan pada Gambar 4.1, 4.3, 4.5, dan 4.7 menunjukkan bahwa *muffle furnace* dengan ukuran $20\text{cm} \times 18\text{cm}$, di mana temperatur pada *muffle furnace* dengan variasi suhu $T = 200^{\circ}\text{C}$, $T = 400^{\circ}\text{C}$, $T = 600^{\circ}\text{C}$, dan $T = 800^{\circ}\text{C}$. Hasil kontur yang berwarna merah gelap menunjukkan suhu paling panas dan panas yang paling rendah ditunjukkan kontur berwarna biru. Hal ini ditandai dengan terjadinya perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin. Nilai suhu yang ditunjukkan pada gambar diatas adalah dalam satuan Celcius($^{\circ}\text{C}$), dimana nilai tersebut merupakan suhu yang terjadi di dalam *muffle furnace*. Dari hasil yang diperoleh, nilai suhu pada dinding sumber panas lebih tinggi dibandingkan dengan suhu sekitar *muffle furnace*. Yang membedakan pada hasil grafik yang menunjukkan suhu di tengah. Pada Gambar 4.2 pada saat $T = 200^{\circ}\text{C}$ dengan di tiap kenaikan dibutuhkan waktu 540 detik dengan suhu yang berada di tengah berkisar 150°C . Gambar 4.4 pada saat $T = 400^{\circ}\text{C}$ di tiap kenaikan dibutuhkan waktu 1.800 detik dengan suhu yang berada di tengah berkisar 250°C . Gambar 4.6 pada saat $T = 600^{\circ}\text{C}$ di tiap kenaikan waktu 2.400 detik dengan suhu yang berada di tengah berkisar 400°C . Gambar 4.8 pada saat $T = 800^{\circ}\text{C}$ dengan di

tiap kenaikan dibutuhkan waktu 3.000 detik dengan suhu yang berada di tengah berkisar 500°C. Hal ini disebabkan karena sumber pemanas terletak pada bagian samping, sehingga sebaran panasnya tidak merata mencapai set point. Apabila sumber pemanas terletak di semua sisi akan lebih terlihat sebaran panasnya menyeluruh mencapai set point. Dari gambar tersebut terlihat bahwa proses distribusi sebaran panas di dalam *muffle furnace* awalnya tidak merata, maka semakin menjadi merata. Hal tersebut karena semakin besar suhu yang diberikan, maka semakin besar pula waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu yang diinginkan, dan hasil distribusi sebaran panas akan semakin baik dan akurat. Maka akan semakin mudah untuk melihat persebaran atau distribusi di tiap kenaikan suhunya.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemodelan distribusi sebaran panas menggunakan *Software* GUI MATLAB dengan variasi suhu $T = 200^{\circ}\text{C}$, $T = 400^{\circ}\text{C}$, $T = 600^{\circ}\text{C}$, dan $T = 800^{\circ}\text{C}$.
2. Hasil pemodelan distribusi sebaran panas didalam Muffle Furnace menunjukkan ketika suhu $T = 200^{\circ}\text{C}$ di tiap kenaikan mencapai suhu $T = 200^{\circ}\text{C}$ dibutuhkan waktu 540 detik dengan suhu yang berada di tengah berkisar 150°C . Suhu $T = 400^{\circ}\text{C}$ di tiap kenaikan mencapai suhu $T = 400^{\circ}\text{C}$ dibutuhkan waktu 1.800 detik dengan suhu yang berada di tengah berkisar 250°C . Suhu $T = 600^{\circ}\text{C}$ di tiap kenaikan mencapai suhu $T = 600^{\circ}\text{C}$ dibutuhkan waktu 2.400 detik dengan suhu yang berada di tengah berkisar 400°C . Dan suhu $T = 800^{\circ}\text{C}$ di tiap kenaikan mencapai suhu $T = 800^{\circ}\text{C}$ dibutuhkan waktu 3.000 detik dengan suhu yang berada di tengah berkisar 500°C .

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. Program hasil penelitian distribusi sebaran panas perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada dimensi yang berbeda supaya lebih mendapatkan hasil yang lebih baik.
2. Dilakukan pengambilan data terhadap muffle furnace bersamaan dengan pengambilan data di program. Supaya lebih mendapatkan hasil yang real.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, Yusuf M., Rancang Bangun *Muffle Furnace* Suhu Tinggi dengan Menggunakan Kontrol PID. Surabaya: 2014.
- Boas, Mary L., *Mathematical Methods in the Physical Sciences, Second Edition*. John Wiley & Sons Inc., 1983
- Djojodihardjo, Harijino. (2000). Metode Numerik. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Hirsch, Charles, *Numerical Computation of Internal and External Flows, Second Edition*, John Wiley & Sons, Ltd., 2007
- Holman, J. (1994). *Perpindahan Kalor Edisi Keenam, Alih Bahasa Ir. E. Jasjfi, M.Sc*. Jakarta: Erlangga.
- <http://edhokmigas.blogspot.com/2014/12/proses-perpindahan-panas.html>
- James, M.L., et.al. 1993. Applied Numerical Methods for Digital Computation, Harper Collins College Publishers.
- Lam C, Y. (1994). *Applied Numerical Methods for Partial Differential Equations*. Singapore: Prentice-Hall.
- Respati, S.M.B. 2009. "Rekayasa pembuatan *Furnace* dengan kapasitas 2400 Watt" Oktober.
- Susila, I Nyoman. 1993. *Dasar-dasar metode Numerik*. Bandung: F.MIPA ITB.
- Supardi, M.Si. (2008). *Persamaan Diferensial Parsial*. Jakarta: Elex Media Komputerindo.
- Triatmojo, Bambang. (2002). *Dasar-Dasar Metode Numerik*. Bandung: FMIPA ITB.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN

1. Listing Program Menggunakan *Software* GUI MATLAB

```
function conduction(handles)
set(stop, 'UserData', 0);
% input parameter
L = data.L;
H = data.H;
dx = data.dx;
dy = data.dy;
tmax = data.tmax;
dt = data.dt;
% create the x, y meshgrid based on dx, dy
nx = (L/dx + 1);
ny = (H/dy + 1);
[X,Y] =
meshgrid(linspace(0,L,nx),linspace(0,H,ny));
% take the center point of the domain
ic = ((nx-1)/2+1);
jc = ((ny-1)/2+1);
% set initial and boundary conditions
T = data.T_int*ones(ny,nx);
T(:,1) = data.T_lft;
T(:,end) = data.T_rht;
T(1,:) = data.T_btm;
T(end,:) = data.T_top;
Tmin = min(min(T));
Tmax = max(max(T));
% iteration, march in time
n = 0;
nmax = (tmax/dt);
while n < nmax
    if get(stop, 'UserData') == 1
        break
    end
    n = n + 1;
    T_n = T;
```

```

    for j = 2:ny-1
        for i = 2:nx-1
            T(j,i) = T_n(j,i) + (T_n(j,i+1)-
2*T_n(j,i)+T_n(j,i-1))...
                + (T_n(j+1,i)-2*T_n(j,i)+T_n(j-
1,i));
        end
    end
    if(n/50) == n/50 % refresh the plot every 50
time steps to save time
        % plot temperature Tcenter
        fig.cont = contourf(Tcontour,X,Y,T);
        title(Tcontour,sprintf('Waktu Set Point
= %g s',n*dt)),
        colorbar('peer', Tcontour),
        xlabel(Tcontour,'x(m)'),ylabel(Tcontour,'y
(m)')
        axis(Tcontour,'equal','tight'),
        % plot temperature at center point
fig.pl = scatter(Tplot,n*dt,T(jc,ic),'r. ');
xlim(Tplot,[0
tmax]),xlabel(Tplot,'t(s)'),ylabel(Tplot,'Tcente
r')
        hold(Tplot,'on')
        pause(0.01)
    end
end

```

BIODATA PENULIS



Ayu Nur Faradilah yang dilahirkan di Surabaya pada tanggal 20 Januari di tahun 1996. Yang biasa dipanggil dengan sebutan Dilah atau Fara. Dilahirkan dari pasangan yang luar biasa dan menjadi sumber motivasi utama penulis dalam menjalani kehidupan dunia yang sangat keras ini, dengan kebanggaan penulis mempunyai ayah yang bernama Arief Hernawan dan ibu yang bernama Elok Farikhah. Penulis merupakan anak pertama dan mempunyai dua adik yang selalu memberi dukungan sampai sekarang ini. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Aisyiah Aba III Sidoarjo, SD Muhammadiyah 2 Jetis Sidoarjo, SMPN 1 Buduran Sidoarjo dan SMA Intensif Taruna Pembangunan Surabaya. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2014 penulis diterima di Departemen Fisika, Fakultas Sains di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya terdaftar dengan NRP 01111440000104. Pendidikan terakhir penulis mengambil studi di Departemen Fisika FS ITS bidang minat Instrumentasi Elektronika. Penulis menjalani kehidupan kampus menempa diri di Himpunan Mahasiswa Fisika ITS diawali menjadi Koordinator Pendamping 2014. Penulis juga mendapat amanah menjadi panitia Physics Summit 2014. Penulis mempunyai hobi menulis, mendengarkan musik, dan lain sebagainya. Semoga dengan penulisan Tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan. Kritik dan saran bisa menghubungi ayyu20faradilah@gmail.com.