

**SIMULASI NUMERIK PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI ALAMI  
PADA LAPIS BATAS ALIRAN LAMINAR PLAT DATAR VERTIKAL  
UNSTEADY DENGAN METODE BEDA HINGGA**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik



Oleh :

**SATYA PANDU PRADANA**  
**NIM. I1410030**

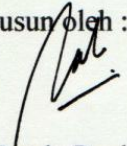
**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA**

**2014**

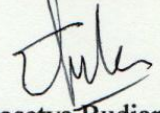
*commit to user*

**SIMULASI NUMERIK PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI ALAMI  
PADA LAPIS BATAS ALIRAN LAMINAR PLAT DATAR VERTIKAL  
UNSTEADY DENGAN METODE BEDA HINGGA**

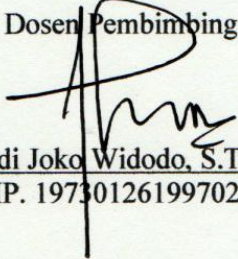
Disusun oleh :

  
Satya Pandu Pradana  
NIM: I1410030

Dosen Pembimbing I

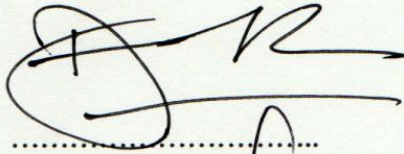
  
Eko Prasetya Budiana, S.T.,M.T.  
NIP. 197109261999031002

Dosen Pembimbing II

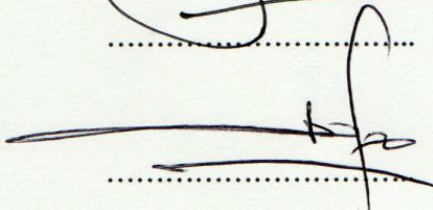
  
Purwadi Joko Widodo, S.T.,M.Kom  
NIP. 197301261997021001

Telah dipertahankan di hadapan dosen tim penguji pada hari Selasa 8 Juli 2014

1. D.Danardono, S.T.,M.T.,PhD.  
NIP. 196905141999031001

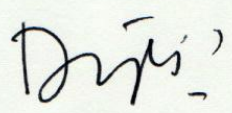
  
.....

2. DR ENG. Syamsul Hadi, S.T.,M.T.  
NIP. 197106151998021002

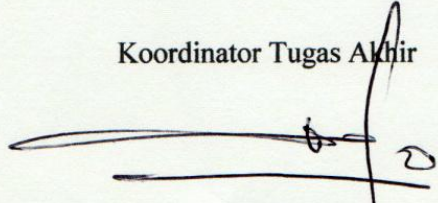
  
.....

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin

  
Didik Djoko Susilo, S.T.,M.T.  
NIP. 197203131997021001

Koordinator Tugas Akhir

  
DR ENG. Syamsul Hadi, S.T.,M.T.  
NIP. 197106151998021002

*commit to user*

**SIMULASI NUMERIK PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI ALAMI  
PADA LAPIS BATAS ALIRAN LAMINAR PLAT DATAR VERTIKAL  
MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

**Motto**

Ajarlah kami menghitung hari-hari kami sedemikian,  
hingga kami peroleh hati yang bijaksana. (Pray of Moses)

Kemustahilan hanyalah sebuah kata yang diungkapkan oleh manusia yang merasa lemah, yang memilih hidup mudah di dunia ini, mereka tidak memiliki kekuatan untuk mengubahnya. Kemustahilan bukanlah kenyataan, itu hanyalah bayang-bayang. Kemustahilan bukan pula alasan namun tantangan. Kemustahilan bukanlah sebuah potensi. Kemustahilan hanyalah sementara. *Impossible is nothing.*  
(David Beckham)

Hidup adalah keberanian untuk berpetualang, atau tidak sama sekali (anonim)



**Persembahan**

**Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada :**

Kedua orang tuaku yang sangat aku sayangi.

Adikku yang aku banggakan.

Semua orang yang telah mengasihiku.

*commit to user*

**ABSTRAK****Satya Pandu Pradana, Komputasi Perpindahan Panas  
SIMULASI NUMERIK PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI ALAMI  
PADA LAPIS BATAS ALIRAN LAMINAR PLAT DATAR VERTIKAL  
UNSTEADY DENGAN METODE BEDA HINGGA**

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui fenomena yang terjadi, meliputi distribusi kecepatan udara, distribusi temperatur udara dan nilai koefisien perpindahan panas konveksi pada aliran laminar plat datar vertikal panas *unsteady*. Penulisan program menggunakan bahasa pemrograman Fortran disusun dengan perangkat lunak Microsoft Developer Studio dan divisualisasikan dengan perangkat lunak Matlab 2010.

Tulisan ini menguraikan penyelesaian konveksi alami dengan variasi waktu. Variasi waktu dilakukan pada waktu 0.0001 s, 0.0002 s, 0.0003 s, 0.0005 s, 0.0007 s. Temperatur plat yang disimulasikan adalah 60°C dan temperatur arus bebas (*free steam*) 20°C dengan panjang plat 10 cm. *Properties* udara dihitung pada temperatur *film* 40°C, yaitu: viskositas kinematik,  $\nu = 17.008 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  dan konduktivitas termal,  $k = 27.22 \times 10^{-3} \text{ W/m}^\circ\text{C}$ . *Properties* lain yang digunakan adalah percepatan gravitasi,  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$  dan bilangan Prandtl,  $Pr = 0.71$  dengan kondisi batas di  $y = 0$  adalah  $u = 0$ ,  $v = 0$  dan  $T = T_w$ ; di  $y = \infty$  adalah  $u = 0$  dan  $T = T_\infty$ ; dan  $x = 0$  adalah  $u = 0$  dan  $T = T_\infty$ . Metode yang digunakan adalah metode beda hingga dengan diskritisasi dari persamaan energi, persamaan momentum dan persamaan kontinuitas.

Hasil perancangan program dapat dijalankan untuk menghasilkan simulasi numerik distribusi kecepatan dan distribusi temperatur aliran laminar konveksi alami pada plat datar vertikal panas dalam waktu tertentu, serta nilai koefisien perpindahan panas konveksi alami lokal. Semakin jauh jarak dari ujung plat, nilai koefisien perpindahan konveksi alami lokalnya semakin kecil.

**Kata kunci : konveksi alami, plat datar vertikal, *unsteady*, metode beda hingga.**



**ABSTRACT****Satya Pandu Pradana, *Computation of Heat Transfer*  
NUMERICAL SIMULATION FOR NATURAL CONVECTION HEAT  
TRANSFER IN THE VERTICAL FLAT PLATE BOUNDARY LAYERS  
LAMINAR FLOW UNSTEADY WITH DIFFERENCE METHOD**

*The main object of this study is to determine the phenomena, including temperature distributions, velocity distributions and the heat transfer coefficient for natural convection in the laminar flows hot vertical flat plate unsteady. The program was written by a Microsoft Developer Studio and the results was plotted using Matlab 2010.*

*This paper outlines a method for solving natural convection with variation of the time. The time variation were 0.0001 s, 0.0002 s, 0.0003 s, 0.0005 s, 0.0007 s. The plate temperature was set at 60°C and the free stream temperature was set at 20°C with plate length 10 cm. The air properties evaluated at film temperature 40°C, were: viscous kinematic,  $\nu = 17.008 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  and thermal conductivity,  $k = 27.22 \times 10^{-3} \text{ W/m}^\circ\text{C}$ . The other properties that used were gravitational acceleration,  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$  and Prandtl number,  $Pr = 0.71$ . The boundary condition at  $y = 0$  were  $u = 0$ ,  $v = 0$  and  $T = T_w$ ; at  $y = \infty$  were  $u = 0$  and  $T = T_\infty$ ; and at  $x = 0$  were  $u = 0$  and  $T = T_\infty$ . The finite difference were the method, that was used by discretizing the energy, momentum and continuity equation.*

*The result of this program was running properly and showing a good agreement with the classical literature in simulating the velocity and temperature distributions in laminar flows area for natural convection along vertical heated plate in different time, and also for the local heat transfer convection coefficient. The more distance  $x$  from the leading edge of the plate, the less heat transfer convection coefficient obtained.*

**Keyword : natural convection, vertical-flat-plate, unsteady, finite difference method.**

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang senantiasa melimpahkan rahmat serta kekuatan kepada Penulis, sehingga Penulis dapat melaksanakan penelitian dan menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul **“SIMULASI NUMERIK PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI ALAMI PADA LAPIS BATAS ALIRAN LAMINAR PLAT DATAR VERTIKAL UNSTEADY DENGAN METODE BEDA HINGGA”**, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak yang sangat berarti demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Oleh sebab tersebut pada kesempatan ini penulis mengucapkan rasa terima kasih sedalam dalamnya kepada :

1. Didik Djoko Susilo, S.T.,M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin UNS.
2. Bapak Eko Prasetya Budiana, S.T.,M.T., selaku Pembimbing I tugas akhir, atas bimbingan, nasehat, kesabaran, motivasi dan ilmu pengetahuan yang diajarkannya.
3. Bapak Purwadi Joko Widodo, S.T.,M.Kom, selaku Pembimbing II tugas akhir, atas bimbingan, nasehat, kesabaran dan ilmu pengetahuan yang diajarkannya.
4. Bapak Tri Istianto, S.T.,M.T., selaku Pembimbing Akademik.
5. Bapak–bapak dosen dan staf karyawan di lingkungan Teknik Mesin UNS, atas didikan, nasehat, ilmu yang diajarkan dan kerjasamanya.
6. Ayah, Ibu dan adik yang selalu memberikan dorongan semangat dan doa kepada Penulis terima kasih untuk kasih sayangnya.
7. Teman–teman Teknik Mesin transfer angkatan 2010 dan teman–teman Teknik Mesin UNS
8. Seluruh pihak yang telah membantu Penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

*commit to user*

Dengan segenap bantuan dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis semoga akan mendapat limpahan berkah dari Tuhan Yang Maha Esa.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih belum dapat dikatakan sempurna, untuk itu dengan rendah hati penulis menerima kritikan maupun saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir tersebut. Akhir kata penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.



Surakarta, Juli 2014

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR NOTASI.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II LANDASAN TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori.....	6
2.2.1 Lapis Batas.....	7
2.2.2 Persamaan Lapis Batas Pada Plat Datar.....	8
2.2.3 Bilangan <i>Grashof</i> dan Bilangan <i>Rayleigh</i> .....	8
2.2.4 Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Alami.....	9
2.2.5 Metode Beda Hingga.....	10
2.2.6 Pendekatan Beda Maju Orde Pertama .....	10
2.2.7 Pendekatan Beda Mundur Orde Pertama .....	11
2.2.8 Pendekatan Beda Tengah Orde Pertama .....	12



2.2.9 Pendekatan Beda Tengah Orde Kedua.....	12
<b>BAB III PELAKSANAAN PENELITIAN.....</b>	<b>14</b>
3.1 Alat dan Bahan.....	14
3.1.1. Alat.....	14
3.1.2. Bahan.....	14
3.2 Garis Besar Penelitian.....	14
3.3 Non-Dimensionalisasi Persamaan Lapis Batas.....	16
3.3.1 Non-Dimensionalisasi Persamaan Kontinuitas .....	18
3.3.2 Non-Dimensionalisasi Persamaan Momentum .....	18
3.3.3 Non-Dimensionalisasi Persamaan Energi .....	20
3.4 Diskritisasi Persamaan Lapis Batas Non-Dimensional.....	22
3.4.1 Diskritisasi Persamaan Kontinuitas.....	22
3.4.2 Diskritisasi Persamaan Momentum.....	24
3.4.3 Diskritisasi Persamaan Energi.....	26
3.5 Kondisi Batas.....	28
3.6 Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Alami .....	29
3.7 Penyusunan Algoritma dan Bagan Alir ( <i>Flow Chart</i> ) Program ..	30
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
4.1 Validasi Program .....	33
4.2 Simulasi Konveksi Alami Plat Datar Vertikal Panas <i>Unsteady</i> ...	35
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>46</b>
5.1 Kesimpulan .....	46
5.2 Saran .....	46
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>47</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>48</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Distribusi kecepatan arah $x$ untuk jenis fluida udara.....	5
Gambar 2.2	Distribusi temperatur dengan variasi nilai bilangan <i>Prandtl</i> ....	6
Gambar 2.3	Profil kecepatan direksional arah $x$ dengan variasi bilangan <i>Prandtl</i> .....	6
Gambar 2.4	Daerah Lapis Batas (a) Profil Kecepatan pada Konveksi Alami (b) Profil Temperatur pada Konveksi Alami.....	8
Gambar 2.5	Skema Pendekatan Beda Maju Orde Pertama .....	10
Gambar 2.6	Skema Pendekatan Beda Mundur Orde Pertama.....	11
Gambar 2.7	Skema Pendekatan Beda Tengah Orde Pertama .....	12
Gambar 2.8	Skema Pendekatan Beda Tengah Orde Kedua .....	12
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	15
Gambar 3.2	Skema Pendekatan Beda Tengah Untuk Persamaan Kontinuitas .....	22
Gambar 3.3	Skema metode ADI .....	24
Gambar 3.4	Kondisi Batas.....	28
Gambar 3.5	Grid yang digunakan dalam analisa .....	29
Gambar 3.6	Diagram Alir Program.....	31
Gambar 4.1	Perbandingan profil kecepatan udara arah $x$ hasil penelitian sekarang dengan milik Destyanto Wendy .....	33
Gambar 4.2	Perbandingan profil temperatur udara hasil penelitian sekarang dengan milik Destyanto Wendy .....	34
Gambar 4.3	Perbandingan distribusi koefisien perpindahan panas lokal hasil penelitian sekarang dengan milik Destyanto Wendy.....	34
Gambar 4.4	Perbandingan distribusi temperatur hasil penelitian sekarang dengan milik Destyanto Wendy .....	35
Gambar 4.5	Profil kecepatan udara arah $x$ hasil penelitian pada $T=0.0001$ s; $0.0002$ s; $0.0003$ s; $0.0005$ s; $0.0007$ s .....	36
Gambar 4.6	Profil kecepatan udara arah $x$ hasil penelitian pada $T=0.0007$ s dengan variasi grid arah $x$ .....	38

Gambar 4.7 Profil kecepatan udara arah  $x$  2-D hasil penelitian pada saat *steady*..... 39

Gambar 4.8 Profil temperatur udara hasil penelitian pada  $T=0.0001$  s; $0.0002$  s; $0.0003$  s; $0.0005$  s;  $0.0007$  s ..... 40

Gambar 4.9 Distribusi koefisien perpindahan panas lokal pada  $T=0.0001$  s; $0.0002$  s; $0.0003$  s; $0.0005$  s;  $0.0007$  s ..... 41

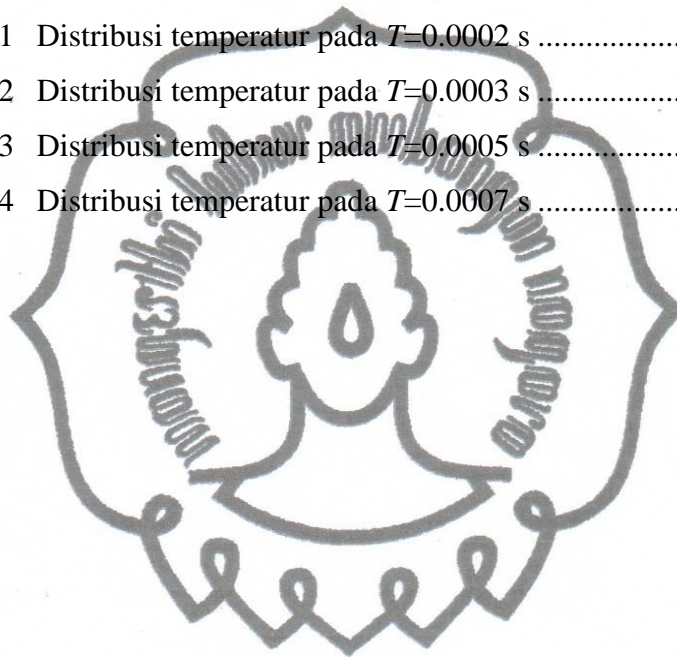
Gambar 4.10 Distribusi temperatur pada  $T=0.0001$  s ..... 42

Gambar 4.11 Distribusi temperatur pada  $T=0.0002$  s ..... 42

Gambar 4.12 Distribusi temperatur pada  $T=0.0003$  s ..... 43

Gambar 4.13 Distribusi temperatur pada  $T=0.0005$  s ..... 43

Gambar 4.14 Distribusi temperatur pada  $T=0.0007$  s ..... 44



## DAFTAR NOTASI

$Ra$	: Bilangan Rayleigh
$\beta$	: Koefisien ekspansivitas termal
$g$	: Percepatan gravitasi
$T_w$	: Temperatur dinding
$T_\infty$	: Temperatur fluida
$L$	: Panjang plat
$Pr$	: Bilangan prandtl
$Gr$	: Bilangan Grashof
$\nu$	: Viskositas kinematik
$h_x$	: Koefisien perpindahan panas lokal
$k$	: Konduktivitas termal
$T_w$	: Temperatur dinding
$T_\infty$	: Temperatur udara bebas
$U$	: Kecepatan arah x
$V$	: Kecepatan arah y
$\Delta t$	: Delta waktu
$\Delta x$	: Delta x
$\Delta y$	: Delta y
$W$	: Tebal domain

*commit to user*

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perbandingan Nilai temperatur dalam kondisi <i>steady</i> .....	48
Lampiran 2. Program Penyelesaian Konveksi Alami .....	52
Lampiran 3. Program Untuk Visualisasi Hasil .....	61



*commit to user*