



**ANALISIS NUMERIK PERPINDAHAN PANAS DALAM
TUNGKU PEMANAS *ARC-WELDING-ELECTRODE*
DENGAN MENGGUNAKAN METODE VOLUME
HINGGA SEBAGAI MONOGRAF**

SKRIPSI

Oleh

Nurul Fika Romadhoni

NIM 130210101068

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN MATEMATIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER**

2017



**ANALISIS NUMERIK PERPINDAHAN PANAS DALAM
TUNGKU PEMANAS *ARC-WELDING-ELECTRODE*
DENGAN MENGGUNAKAN METODE VOLUME
HINGGA SEBAGAI MONOGRAF**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Pendidikan Matematika (S1) dan mencapai gelar Sarjana Pendidikan

Oleh

Nurul Fika Romadhoni

NIM 130210101068

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN MATEMATIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER**

2017

PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah SWT. Yang Maha Pengasih Lagi Maha Penyayang, serta sholawat atas Nabi Muhammad SAW., kupersembahkan sebuah kebahagiaan dalam perjalanan hidupku teriring rasa terima kasihku yang terdalam kepada:

1. Kedua orang tuaku, Ayahanda Suyut Priyanto dan Ibunda Jami'atul Kiptiyah, serta Adikku Erma Surya Yuliana dan Anike Istin Fevirna, yang senantiasa mengalirkan kasih sayang, perhatian, dan doa yang tiada pernah putus yang selalu mengiringiku dalam meraih cita-cita;
2. Bapak Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D. dan Bapak Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si. selaku pembimbing skripsi yang tulus ikhlas membimbing dan selalu memberikan motivasi sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan;
3. Semua guru dan dosenku yang telah memberikan ilmu dan membimbingku dengan penuh kesabaran;
4. Teman-temanku M. A. Mazharul Labib, Dias Chusnul Aulia, Anita Putri Agustina, Riska Amalia Hakim, Rika Nurmaharani, Mita Oktavia Aziza, Syahdinar Indriawati Amaliyah, Tri Utari, Hariyana, Marinten Nova Mucica, Reni Dara Juwita, Septi Baitul Nuriza, Mutiara Indah P. S., Devy Audina Karyanti, Liantika Wulansari, Titis, Dinda, Firly, Yeni, Lintang, Elly, Ine, dan Reva yang selalu berbagi suka duka dan memberikan dukungan serta motivasi;
5. Teman-teman satu bimbingan Siti Aisyah, Devi Yulianti, Putri, Rizqi, Budi dan Juanda yang bersama-sama berjuang menyelesaikan skripsi dan saling menyemangati;
6. Rekan-rekan satu angkatan dan satu kos yang seperti keluarga sendiri.
7. Almamater tercinta Program Studi Pendidikan Matematika Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

MOTTO

يَتَأْتِيهَا الَّذِينَ ءَامَنُوا بِالصَّبْرِ وَالصَّلَاةِ إِنَّ اللَّهَ مَعَ الصَّابِرِينَ



"Hai orang-orang yang beriman, jadikanlah sabar dan shalatmu sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar."

(QS. Al-Baqarah: 153)

مَنْ خَرَجَ فِي طَلْبِ الْعِلْمِ فَهُوَ فِي سَبِيلِ اللَّهِ حَتَّى يَرْجِعَ

"Barang siapa yang keluar untuk mencari ilmu maka ia berada di jalan Allah hingga ia pulang."

(HR. Turmudzi)

"Hidup adalah kegelapan jika tidak ada hasrat dan keinginan. Dan semua hasrat serta keinginan adalah buta, jika tidak disertai pengetahuan.

Dan pengetahuan adalah hampa jika tidak diikuti pelajaran."

-Khalil Gibran-

*"Education is not the learning of fact,
But the training of the mind to think."*

-Albert Einstein-

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurul Fika Romadhoni

NIM : 130210101068

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: Analisis Numerik Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas *Arc-Welding-Electrode* dengan Menggunakan Metode Volume Hingga sebagai Monograf adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumber rujukannya, dan belum diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Maret 2017

Yang menyatakan,

Nurul Fika Romadhoni

NIM. 130210101068

PENGAJUAN

ANALISIS NUMERIK PERPINDAHAN PANAS DALAM
TUNGKU PEMANAS *ARC-WELDING-ELECTRODE*
DENGAN MENGGUNAKAN METODE VOLUME
HINGGA SEBAGAI MONOGRAF

SKRIPSI

diajukan guna memenuhi syarat untuk menyelesaikan pendidikan Program Sarjana Strata Satu Program Studi Pendidikan Matematika Jurusan Pendidikan MIPA pada Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Nama Mahasiswa : Nurul Fika Romadhoni
NIM : 130210101068
Jurusan : Pendidikan MIPA
Program Studi : Pendidikan Matematika
Angkatan Tahun : 2013
Daerah Asal : Blitar
Tempat, Tanggal Lahir : Blitar, 28 Januari 1995

Disetujui oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D.
NIP.19680802 199303 1 004

Arif Fatahillah, S.Pd, M.Si.
NIP. 19820529 200912 1 003

SKRIPSI

**ANALISIS NUMERIK PERPINDAHAN PANAS DALAM
TUNGKU PEMANAS *ARC-WELDING-ELECTRODE*
DENGAN MENGGUNAKAN METODE VOLUME
HINGGA SEBAGAI MONOGRAF**

Oleh

**Nurul Fika Romadhoni
NIM 130210101068**

Dosen Pembimbing 1 : Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing 2 : Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul " Analisis Numerik Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas *Arc-Welding-Electrode* dengan Menggunakan Metode Volume Hingga sebagai Monograf" telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan pada:

Hari : Selasa

Tanggal : 21 Maret 2017

Tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Tim Penguji :

Ketua,

Sekretaris,

Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19680802 199303 1 004

Arif Fatahillah, S.Pd, M.Si.
NIP. 19820529 200912 1 003

Anggota I,

Anggota II,

Susi Setiawani, S.Si., M.Sc.
NIP. 197003007 199512 2 001

Drs. Toto' Bara Setiawan, M.Si.
NIP. 19581209 198603 1 003

Mengetahui,

Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Jember

Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19680802 199303 1 004

RINGKASAN

Analisis Numerik Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas *Arc-Welding-Electrode* dengan Menggunakan Metode Volume Hingga sebagai Monograf; Nurul Fika Romadhoni, 130210101068; 2017: 93 halaman; Program Studi Pendidikan Matematika Jurusan Pendidikan MIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

Indonesia merupakan negara berkembang yang memiliki pabrik industri khususnya industri pembuatan elektroda yang digunakan dalam pengelasan. Pengelasan sering dilakukan dalam kehidupan sehari-hari, tentunya oleh pekerja pada bidang pengelasan dan juga mahasiswa jurusan teknik. Pada proses pengelasan keadaan elektroda harus diperhatikan karena elektroda las sangat sensitif terhadap kondisi udara. Dalam pabrik industri pembuatan elektroda membutuhkan tungku pemanas untuk memanaskan elektroda sehingga lapisan elektroda dapat mengering dan melekat dengan baik. Tungku pemanas elektroda membutuhkan panas dengan kecepatan aliran turbulen yang tepat. Dengan kecepatan aliran panas yang tepat maka elektroda yang dihasilkan juga akan berkualitas dan membuat lapisan elektroda menjadi kering dengan baik karena elektroda menentukan kekuatan hasil pengelasan. Tujuan pada penelitian ini adalah mengetahui kecepatan aliran perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode* berdasarkan suhu dan mengetahui kecepatan aliran perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode* berdasarkan kecepatan aliran udara.

Dalam penelitian ini dikembangkan model matematika dari persamaan momentum dan persamaan energi yang didapat dari hasil pustaka, menyelesaikan model matematika menggunakan volume hingga, membuat algoritma dengan MATLAB dari pemodelan perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode*, menganalisis algoritma dan keadaan perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode*, simulasi menggunakan FLUENT, menganalisis hasil dari simulasi dengan FLUENT, dan menarik kesimpulan dari hasil simulasi. Mo-

del matematika yang telah diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 & \phi_n \left[-\frac{v\Delta t\Delta t}{\Delta x} - \frac{v\Delta x\Delta t\Delta t}{\Delta y\Delta y} \right] + \phi_s \left[\frac{v\Delta t\Delta t}{\Delta x} + \frac{v\Delta x\Delta t\Delta t}{\Delta y\Delta y} \right] \\
 & + \phi_e \left[-\frac{u\Delta y\Delta t\Delta t}{\Delta x\Delta x} + \frac{u\Delta t\Delta t}{\Delta y} \right] + \phi_w \left[\frac{u\Delta y\Delta t\Delta t}{\Delta x\Delta x} + \frac{u\Delta t\Delta t}{\Delta y} \right] \\
 & = \frac{1}{\left(\mu + \frac{\mu_t}{S_k}\right)} \left[\left(\frac{P}{\rho} + uv - \rho u^2 v + \beta g u \frac{\mu_t}{Pr_t} + hpl(T_1 - T) \right) \Delta x \Delta t + \left(\frac{\mu u}{\rho} \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{\mu u}{\rho} \right) \Delta t \right] + \left(-\frac{P}{\rho} - uv \right) \frac{\Delta t \Delta t}{\Delta x} + \left(\frac{\mu u}{\rho} + \frac{\mu u}{\rho} \right) \frac{\Delta t \Delta t}{\Delta x \Delta x} + \left(\frac{\mu u}{\rho} + \frac{\mu u}{\rho} \right) \\
 & \frac{\Delta t \Delta t}{\Delta x \Delta y} + \left(-\frac{P}{\rho} - uv \right) \frac{\Delta y \Delta t \Delta t}{\Delta x \Delta x} + \left(\frac{\mu u}{\rho} \right) \frac{\Delta y \Delta t \Delta t}{\Delta x \Delta x \Delta x} + \left(-\frac{P}{\rho} - uv \right) \frac{\Delta t \Delta t}{\Delta y \Delta y} \\
 & + \left(\frac{\mu u}{\rho} + \frac{\mu u}{\rho} \right) \frac{\Delta t \Delta t}{\Delta y \Delta y} + \left(\frac{\mu u}{\rho} \right) \frac{\Delta x \Delta t \Delta t}{\Delta y \Delta y \Delta y} + \left(-\frac{P}{\rho} - uv \right) \frac{\Delta t \Delta t}{\Delta y} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan dan dilanjutkan dengan simulasi dengan berbantuan software MATLAB dan FLUENT menunjukkan bahwa hubungan antara suhu dan aliran perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode* yaitu berbanding lurus yang berarti semakin besar suhu dalam tungku maka aliran perpindahan panas dalam tungku juga akan semakin besar dan hubungan antara kecepatan aliran udara dan aliran perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode* yaitu berbanding lurus yang berarti semakin besar kecepatan aliran udara yang masuk dalam tungku maka aliran panas dalam tungku juga akan semakin besar.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Analisis Numerik Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas *Arc-Welding-Electrode* dengan Menggunakan Metode Volume Hingga sebagai Monograf. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Matematika Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dan bimbingan dalam penyusunan skripsi ini, terutama kepada yang terhormat:

1. Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama, Arif Fatahillah, S.Pd, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan proposal ini;
3. Dosen dan Karyawan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
4. semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Semoga bantuan, bimbingan, dan motivasi dari beliau dicatat sebagai amal baik oleh Allah SWT dan mendapat balasan yang sesuai dari-Nya. Selain itu, penulis juga menerima segala kritik maupun saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Maret 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PENGAJUAN	vi
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vii
HALAMAN PENGESAHAN	viii
RINGKASAN	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMBANG	xviii
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Kebaharuan Penelitian	4
2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pemodelan Matematika	5
2.2 CFD (<i>Computational Fluid Dynamics</i>)	6
2.2.1 Metode Volume Hingga	7
2.2.2 Persamaan Energi	8
2.2.3 Persamaan Momentum	9
2.2.4 Teknik Diskritisasi <i>Quadratic Upwind Interpolation Con-</i> <i>factive Kinematics</i> (QUICK)	10
2.3 Fluida	13

2.3.1	Jenis-jenis Fluida	13
2.3.2	Jenis Aliran Fluida	15
2.4	Elektroda	16
2.5	Tungku Pemanas <i>ARC-Welding-Electrode</i>	17
2.6	Perpindahan Panas	19
2.7	Algoritma dan Pemrograman MATLAB	19
2.7.1	Algoritma dan Pemrograman	19
2.7.2	MATLAB 7.0 (<i>Matrix Laboratory</i>)	20
2.8	Metode Gauss Seidell	22
2.8.1	Galat atau <i>Error</i>	25
2.9	Perangkat Lunak Dalam CFD	26
2.9.1	GAMBIT (<i>Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit</i>)	26
2.9.2	FLUENT	27
2.10	Monograf	33
3	METODE PENELITIAN	34
3.1	Jenis Penelitian	34
3.2	Prosedur Penelitian	34
3.3	Definisi Operasional	36
3.4	Tempat Penelitian	37
3.5	Metode Pengumpulan Data	37
3.6	Data dan Analisis Data	37
4	HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1	Persamaan Matematika Analisis Aliran Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas <i>Arc-Welding-Electrode</i>	39
4.1.1	Pembuktian Persamaan Momentum	40
4.1.2	Pembuktian Persamaan Energi	42
4.2	Penyelesaian Model Matematika Analisis Aliran Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas <i>Arc-Welding-Electrode</i>	45
4.3	Diskritisasi	48

4.4	Efektivitas Metode Volume Hingga dengan Menggunakan Toleransi (Batas <i>Error</i>) dalam Analisis Aliran Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas <i>Arc-Welding Elektrode</i>	56
4.4.1	Format <i>Programmning</i>	56
4.4.2	Penggunaan Batas <i>Error</i> (Toleransi) pada Metode Volume Hingga	58
4.4.3	Simulasi Program Model Analisis Aliran Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas <i>Arc-Welding-Electrode</i>	59
4.5	Hasil dan Pembahasan	59
4.5.1	Komputasi MATLAB	60
4.5.2	SIMULASI FLUENT	64
4.5.3	Analisis Efektivitas Metode Volume Hingga pada Aliran Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas <i>Arc-Welding-Electrode</i>	71
5	KESIMPULAN DAN SARAN	73
5.1	Kesimpulan	73
5.2	Saran	74
	DAFTAR PUSTAKA	75
	LAMPIRAN-LAMPIRAN	
	A. FORMAT <i>PROGRAMMING</i> MATLAB	78
	B. HASIL SIMULASI DENGAN METODE GAUSS-SEIDEL . .	88
	C. HASIL PERHITUNGAN NILAI ERROR RELATIF	92
	D. MONOGRAF PEMODELAN MATEMATIKA	93

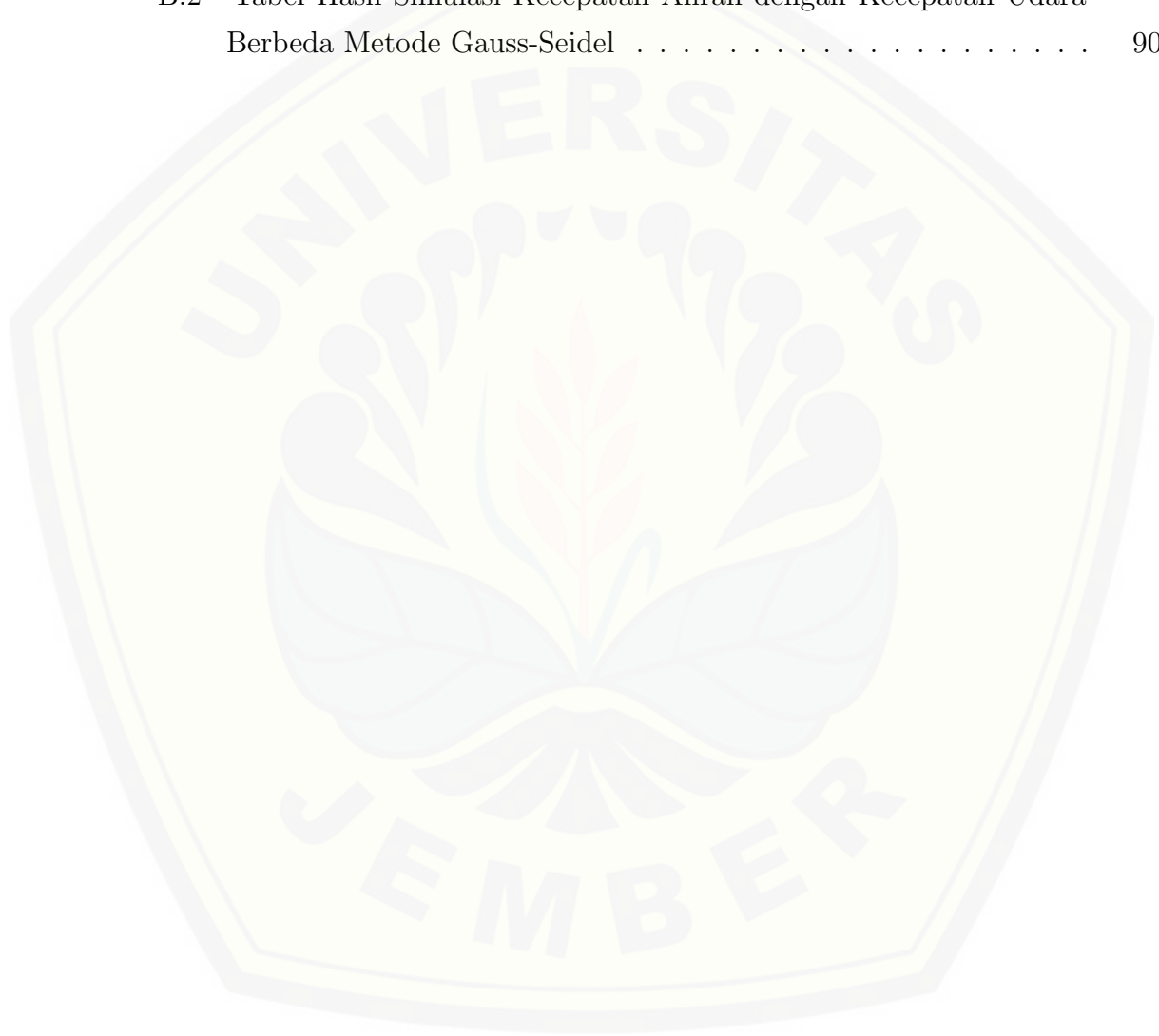
DAFTAR GAMBAR

2.1	Volume Kendali 2 Dimensi	7
2.2	Sel Pusat dan Sel Vertex	8
2.3	Bagan Volume Kendali Persamaan Energi	9
2.4	Bagan Volume Kendali Persamaan Momentum	10
2.5	Diskritisasi QUICK	11
2.6	Fluida Gas	14
2.7	Fluida Cair	14
2.8	Aliran Laminar dan Aliran Turbulen	15
2.9	Elektroda	16
2.10	Elektroda yang siap dipanaskan	17
2.11	Tungku Pemanas	18
2.12	Tungku Pemanas	18
2.13	Tampilan MATLAB 7.0	21
2.14	Tampilan GAMBIT	26
2.15	Tampilan FLUENT	28
2.16	Contoh FLUENT	28
3.1	Bagan Alur Penelitian	35
4.1	Bagan Volume Kendali Persamaan Momentum	41
4.2	Bagan Volume Kendali Persamaan Energi	44
4.3	Diskritisasi Teknik QUICK untuk aliran perpindahan panas dalam tungku pemanas arc-welding-electrode	48
4.4	Skema diskritisasi tungku pemanas <i>arc-welding-electrode</i>	54
4.5	Grafik Aliran Perpindahan Panas pada Suhu 323 K,353 K,dan 383 K	61
4.6	Grafik Aliran Perpindahan Panas pada Kecepatan Udara 1.5m/s, 1.75m/s, dan 2m/s	63
4.7	Desain Tungku Pemanas <i>Arc-Welding-Electrode</i> dengan GAMBIT	65
4.8	Aliran Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas <i>Arc-Welding-Electrode</i> dengan Suhu 323 K (2D)	65


4.9	Aliran Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas <i>Arc-Welding-Electrode</i> dengan Suhu 353 K (2D)	66
4.10	Aliran Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas <i>Arc-Welding-Electrode</i> dengan Suhu 383 K (2D)	66
4.11	Aliran Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas <i>Arc-Welding-Electrode</i> dengan Kecepatan 1.5 m/s (2D)	67
4.12	Aliran Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas <i>Arc-Welding-Electrode</i> dengan Kecepatan 1.75 m/s (2D)	68
4.13	Aliran Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas <i>Arc-Welding-Electrode</i> dengan Kecepatan 2 m/s (2D)	68
4.14	Aliran Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas <i>Arc-Welding-Electrode</i> dengan Elektroda sebanyak 10 (2D)	69
4.15	Aliran Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas <i>Arc-Welding-Electrode</i> dengan Elektroda sebanyak 15 (2D)	70
4.16	Aliran Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas <i>Arc-Welding-Electrode</i> dengan Elektroda sebanyak 20 (2D)	70

DAFTAR TABEL

2.1	Penggunaan CFD dalam Penelitian Murni	32
B.1	Tabel Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Perpindahan Panas dengan Temperatur Berbeda Metode GAUSS-SEIDEL	88
B.2	Tabel Hasil Simulasi Kecepatan Aliran dengan Kecepatan Udara Berbeda Metode Gauss-Seidel	90

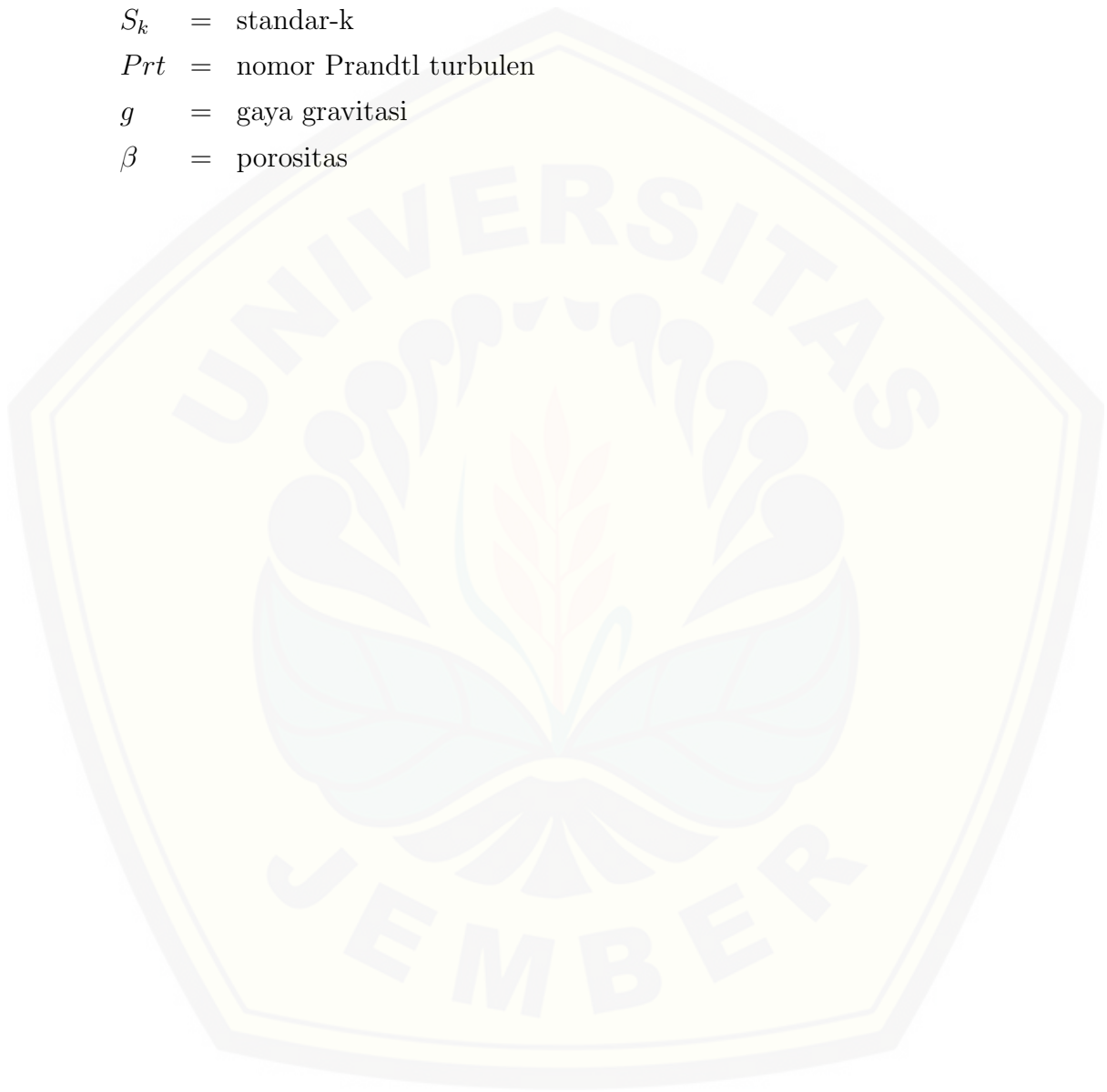


DAFTAR LAMBANG



S	= energi sistem dalam persamaan energi
P	= tekanan
g	= gaya gravitasi
F	= gaya-gaya yang bekerja pada volume kendali
x	= sumbu x
y	= sumbu y
t	= waktu
$\frac{\partial}{\partial x}$	= derivatif terhadap x
$\frac{\partial}{\partial y}$	= derivatif terhadap y
$\frac{\partial}{\partial t}$	= derivatif terhadap t
ρ	= massa jenis
ω	= faktor skala
g_1	= gaya permukaan 1
g_2	= gaya permukaan 2
i	= diskritisasi pada sumbu x
j	= diskritisasi pada sumbu y
k	= diskritisasi pada sumbu z
ϕ_0	= kecepatan awal
ϕ_n	= kontrol permukaan <i>north</i> atau utara
ϕ_s	= kontrol permukaan <i>south</i> atau selatan
ϕ_e	= kontrol permukaan <i>east</i> atau timur
ϕ_w	= kontrol permukaan <i>west</i> atau barat
Δx	= perubahan sumbu x
Δt	= perubahan waktu
v	= kecepatan terhadap sumbu x
u	= kecepatan terhadap sumbu y
T	= suhu awal
T_1	= suhu akhir

- μ = kekentalan fluida
- μ_t = koefisien viskositas turbulen
- p = panjang elektroda
- l = lebar elektroda
- h = koefisien konveksi
- S_k = standar-k
- Pr_t = nomor Prandtl turbulen
- g = gaya gravitasi
- β = porositas



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Matematika merupakan ilmu yang mendasari perkembangan ilmu-ilmu lainnya. Hal ini dikarenakan pada sebagian disiplin ilmu tertentu, matematika sering digunakan untuk membantu dalam menyelesaikan permasalahan yang ada dalam kehidupan sehari-hari. Permasalahan dalam matematika dapat diselesaikan dengan komputasi atau perhitungan dan juga dapat menggunakan komputer dengan aplikasi yang telah tersedia. Matematika dapat digunakan dalam menyelesaikan permasalahan dalam bidang industri khususnya industri pembuatan elektroda yang digunakan dalam pengelasan listrik.

Indonesia merupakan negara berkembang yang memiliki pabrik industri khususnya industri pembuatan elektroda yang digunakan dalam pengelasan listrik. Pengelasan sering dilakukan dalam kehidupan sehari-hari, tentunya oleh pekerja pada bidang pengelasan dan juga mahasiswa jurusan teknik. Pada proses pengelasan keadaan elektroda sangat diperhatikan karena elektroda las sangat sensitif terhadap kondisi udara (Tarkono, et al. 2012). Dalam pabrik industri pembuatan elektroda membutuhkan tungku pemanas elektroda untuk memanaskan elektroda sehingga lapisan elektroda (*fluks*) dapat mengering dan melekat dengan baik. Tungku pemanas yang digunakan dalam industri adalah tungku terus-menerus (Rad dan Ashrafizadeh, 2012). Tungku pemanas elektroda membutuhkan panas dengan kecepatan aliran turbulen yang tepat.

Perpindahan kalor (*heat transfer*) ialah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material (J.P. Holman, 1993:1-2). Perpindahan panas dapat terjadi secara konveksi, konduksi dan radiasi. Perpindahan panas yang terjadi di dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode* terjadi secara konveksi, dimana perpindahan panas terjadi pada tungku ke elektroda.

Elektroda adalah logam pengisi yang berperan di dalam proses pengelasan.

Elektroda juga ikut menentukan kekuatan dari hasil pengelasan, karena itu jenis elektroda harus dipilih sesuai dengan jenis material logam induk karena elektroda ini akan mencair dan menyatu dengan logam induk. Las yang berkualitas jelek biasanya sebagai akibat dari penggunaan elektroda yang rusak, lembab dan telah terkelupas. Dalam penyimpanannya, elektroda harus ditumpuk dengan hati-hati dan tidak boleh jatuh yang akan menyebabkan keretakan pada lapisan elektroda. Elektroda juga harus disimpan pada tempat yang kering dan hangat.

Dari uraian diatas, peneliti tertarik untuk mengetahui perpindahan panas yang terjadi dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode*. Pada penelitian ini akan dianalisis bagaimana kecepatan aliran perpindahan panas yang terjadi didalam tungku selama pemanasan elektroda berlangsung. Dalam penelitian ini akan dikembangkan suatu model persamaan differensial matematika berdasarkan persamaan momentum dan energi yang dibentuk dalam tiga dimensi. Persamaan momentum dan energi didapatkan dari jurnal-jurnal ilmiah yang berkaitan dengan perpindahan panas. Dalam penyelesaian persamaan matematika tersebut, metode yang digunakan adalah metode numerik volume hingga. Hal ini karena metode volume hingga merupakan metode yang sangat baik digunakan untuk bentuk benda yang tidak teratur sehingga benda lebih mudah didiskritisasi untuk menentukan nilai-nilai yang akan dicari pada proses diskritisasi. Kemudian melakukan penanganan model matematika menggunakan MATLAB dan FLUENT, dan selanjutnya menerjemahkan atau menganalisis hasil yang diperoleh.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. bagaimana model matematika pada perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode* dengan menggunakan metode volume hingga?
2. bagaimana kecepatan aliran perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode* berdasarkan suhu?
3. bagaimana kecepatan aliran perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode* berdasarkan kecepatan aliran udara?

4. bagaimana efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode*?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari meluasnya permasalahan yang akan dianalisis, maka dalam penelitian ini permasalahan akan dibatasi pada:

1. pemodelan permasalahan perpindahan panas pada tungku pemanas *arc-welding-electrode* dengan elektroda tipe batang;
2. proses yang dianalisis adalah perpindahan panas pada tungku pemanas *arc-welding-electrode* berdasarkan kecepatan aliran udara pada tungku.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan latar belakang diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. untuk mengetahui model matematika pada perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode* dengan menggunakan metode volume hingga;
2. untuk mengetahui kecepatan aliran perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode* berdasarkan suhu;
3. untuk mengetahui kecepatan aliran perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode* berdasarkan kecepatan aliran udara;
4. untuk mengetahui efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. menambah pengetahuan peneliti dalam bidang pemodelan matematika;
2. sebagai acuan bagi para peneliti lain yang ingin melakukan penelitian sejenis atau penelitian yang lebih lanjut;
3. sebagai informasi baru bagi peneliti dalam bidang industri.

1.6 Kebaharuan Penelitian

Adapun kebaharuan penelitian ini dari penelitian sebelumnya adalah:

1. menggunakan aplikasi MATLAB dalam menganalisis kecepatan aliran perpindahan panas;
2. menggunakan model rumus yang berbeda dengan sebelumnya;
3. menggunakan metode volume hingga dengan teknik diskritisasi *Quadratic Upwind Interpolation Convectiv Kinematics* (QUICK).



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Model matematika perpindahan panas pada tungku pemanas *arc-welding-electrode* dibentuk dengan metode volume hingga kemudian dianalisis secara numerik dengan bantuan MATLAB, serta disimulasikan dengan bantuan FLUENT.

2.1 Pemodelan Matematika

Pemodelan matematika hampir dapat dijumpai pada seluruh cabang ilmu pengetahuan baik untuk biologi, pengobatan, ilmu bumi, dan lainnya. Model Matematika ini berkontribusi dalam bentuk rumusan matematika. Pemodelan matematika merupakan usaha perancangan rumusan matematika yang secara potensial menggambarkan bagaimana mendapatkan penyelesaian masalah matematika yang digeneralisasikan untuk diterapkan pada perilaku atau kejadian alam. Setelah melalui proses simulasi maka diperlukan sebuah eksperimen kembali sebagai langkah pencocokan mengenai apakah model tersebut valid atau perlu diadakan revisi. Masalah yang sering muncul biasanya adalah mengenai nilai awal dan atau masalah syarat batas (Iswanto, 2012: 15-16).

Pemodelan matematika merupakan proses merepresentasikan masalah dalam situasi atau dunia nyata ke dalam bahasa matematika untuk menemukan pemecahan dari suatu masalah (Yusup, 2013). Proses pemodelan dapat didefinisikan dalam hal-hal berikut:

1. mengidentifikasi masalah yang diteliti;
2. menentukan faktor-faktor yang penting;
3. merepresentasikan faktor-faktor di atas dan saling mempengaruhi di antara faktor-faktor tersebut secara matematik dan menganalisis hubungan matematik;
4. menginterpretasi hasil-hasil matematik dalam konteks fenomena dunia nyata;

5. mengevaluasi bagaimana aplikasi hasil-hasil di atas dalam situasi dunia nyata;
6. jika perlu, uji ulang faktor yang berpengaruh dan struktur model awal (Yusup, 2013).

Proses pemodelan matematis melalui beberapa tahap yaitu:

1. penyajian situasi masalah dalam dunia nyata;
2. menginterpretasi, menyederhanakan, dan menstrukturisasi, sehingga diperoleh formula (rumusan) masalah;
3. melalui matematisasi masalah diperoleh rumusan masalah matematis yang disebut pula model matematis;
4. dengan menyelesaikan masalah dihasilkan solusi model matematis;
5. mengevaluasi bagaimana aplikasi hasil-hasil di atas dalam situasi dunia nyata;
6. dengan menginterpretasi solusi akhirnya diperoleh terapan model untuk pengambilan keputusan.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pemodelan matematika merupakan suatu proses dimana permasalahan pada dunia nyata disajikan dalam bentuk permasalahan matematika. Model matematika menggambarkan sistem dunia nyata dalam bentuk persamaan matematika. Oleh karena itu, pemodelan matematika aliran perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode* juga melihat dari kehidupan nyata berdasarkan data-data yang telah diketahui kemudian dimodelkan dalam suatu persamaan matematika.

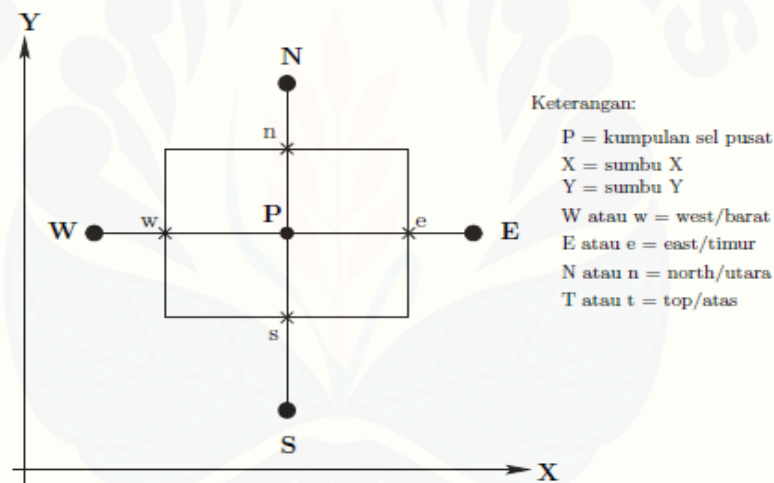
2.2 CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dapat diartikan suatu sistem analisis yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena terkait seperti reaksi kimia dengan cara simulasi berbasis komputer. CFD adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia,

dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika atau model matematika (Tuakia, 2008: 2).

2.2.1 Metode Volume Hingga

Metode volume hingga adalah suatu metode untuk menyelesaikan suatu persamaan pemodelan matematika dengan suatu titik-titik diskrit yang kontinu, jarak antara titik-titik tersebut teratur membentuk suatu *grid* atau *mesh*. Metode volume hingga sangat baik digunakan untuk menyelesaikan masalah penyebaran suhu, aliran fluida, atau masalah mekanika fluida yang lain, dengan membangun bentuk-bentuk geometri. Bentuk-bentuk geometri pada metode volume hingga pada umumnya tidak teratur. Aliran fluida yang memenuhi sifat fisis tersebut dapat dibangun dengan persamaan matematika, yang umumnya memenuhi hukum kekekalan energi, hukum kekekalan massa, dan persamaan momentum.



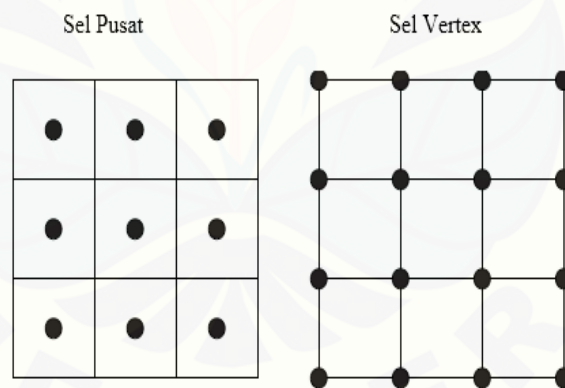
Gambar 2.1 Volume Kendali 2 Dimensi

Aliran suatu fluida dapat dibangun dengan persamaan matematika dengan menggunakan rumus-rumus fisika seperti hukum kekekalan massa, hukum kekekalan energi, dan persamaan momentum. Dalam penelitian ini akan dibangun suatu persamaan matematika berdasarkan hukum kekekalan energi dan persamaan momentum, sedangkan massa udara dianggap tetap (konstan).

Penyelesaian menggunakan volume hingga didasarkan pada bentuk geometri

dari benda yang akan diamati. Kemudian bentuk itu dibagi menjadi beberapa bagian atau *grid*. Masing-masing *grid* memenuhi persamaan matematika yang telah terbentuk. Persamaan yang terbentuk mewakili bidang pada bentuk geometri, pada metode ini perlu dilakukan pendiskritisasian untuk memperoleh persamaan yang mewakili titik-titik pada bentuk geometri. Teknik diskritisasi yang digunakan adalah teknik *Quadratic Upwind Interpolation Convective Kinematics* (QUICK). Teknik diskritisasi QUICK dipilih karena penyelesaian model matematika perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode* menggunakan metode volume hingga dan *grid* pada domain terstruktur. Dengan dua persamaan alur aliran fluida yang menyatakan hukum kekekalan fisika yaitu persamaan momentum dan persamaan energi.

Pada Gambar 2.2 menunjukkan letak sebuah titik pada volume kendali yang terpusat. Sel pusat berfungsi sebagai titik acuan yang mewakili setiap bagian dari model yang telah dipartisi. Sedangkan sel vertex berfungsi sebagai diskritisasi metode volume hingga. Sel pusat dan sel vertex mewakili bidang yang dimodelkan. Dalam penelitian ini akan digunakan volume kendali dua dimensi untuk memodelkan analisis perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode*.

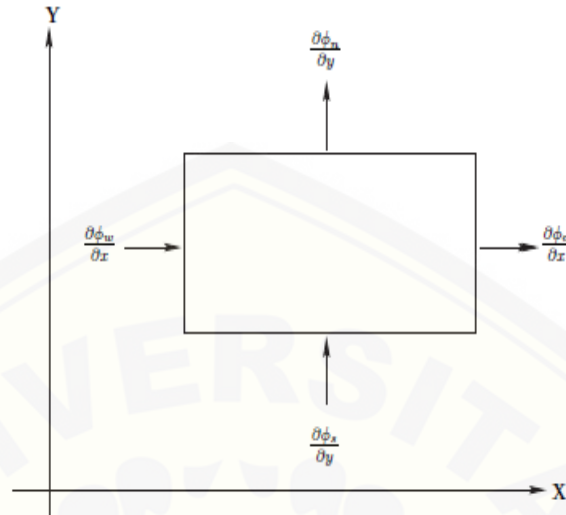


Gambar 2.2 Sel Pusat dan Sel Vertex

2.2.2 Persamaan Energi

Dalam penelitian ini, dipilih sebuah volume kendali keunsuran yang letaknya tetap. Dalam penelitian ini aliran udara merupakan aliran fluida yang turbulen,

sehingga persamaan energi yang dibentuk merupakan persamaan energi untuk aliran turbulen.



Gambar 2.3 Bagan Volume Kendali Persamaan Energi

Persamaan umum untuk energi turbulen adalah (Versteeg, 1995):

Rate of Change of Kinetik+Transport of Kinetik by Convection=Transport of Kinetik by Pressure+Transport of Kinetik by Viscous Stress+Transport of Kinetik by Reynold Stress+Transport of Kinetik by Pressure+Turbulence Production

Bentuk umum persamaan energi adalah :

$$\frac{d\rho\phi_0}{dt} + [pure\ rate] = S$$

Karena objek yang diamati tidak terlihat yaitu udara, maka *pure rate* = output- input.

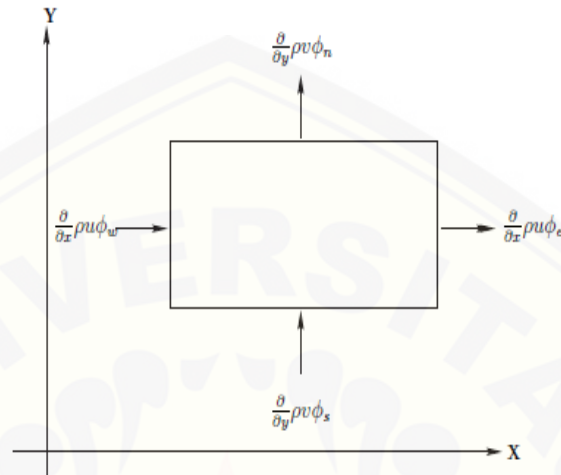
$$\frac{d\rho\phi_0}{dt} + [output-input] = S$$

Fluks energi terjadi di keempat sisi seperti pada Gambar 2.3 , yaitu dua masuk dan dua keluar. S (*source*) adalah energi sistem pada persamaan energi.

2.2.3 Persamaan Momentum

Persamaan momentum merupakan bentuk persamaan diferensial yang menghubungkan dengan gaya-gaya yang bekerja pada volume kendali, salah satunya adalah tekanan (p). Gaya yang lain terdiri dari dua jenis, yaitu gaya beban dan

gaya permukaan. Gaya beban disebabkan oleh medan dari luar (gravitasi, magnet, elektromagnet) yang bekerja pada keseluruhan massa dalam unsur tersebut (White, 1986: 209). Sedangkan gaya permukaan disebabkan oleh tegangan pada sisi-sisi permukaan volume kendali.



Gambar 2.4 Bagan Volume Kendali Persamaan Momentum

Berdasarkan hukum kekekalan momentum maka rumus umum dari persamaan momentum adalah :

$$\frac{d\rho\phi_0}{dt} + [pure\ rate] = F$$

Karena objek yang diamati tidak terlihat yaitu udara, maka *pure rate* = output- input.

$$\frac{d\rho\phi_0}{dt} + [output-input] = F$$

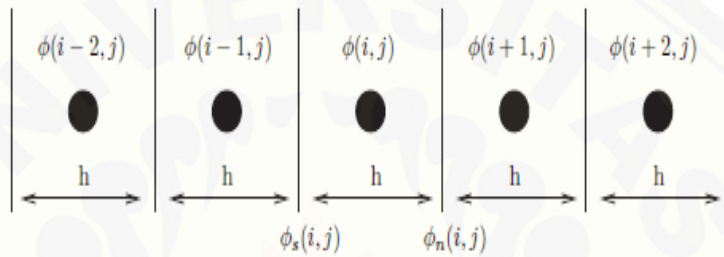
Fluks momentum terjadi di keempat sisi seperti pada Gambar 2.4, yaitu dua masuk dan dua keluar. F adalah gaya-gaya yang bekerja pada volume kendali yaitu *pressure*/tekanan (p), gravitasi (g), dan gaya kekentalan (μ).

2.2.4 Teknik Diskritisasi *Quadratic Upwind Interpolation Confective Kinematics*(QUICK)

Bentuk geometris dari aliran fluida pada masing-masing domain dibuat dalam bentuk *grid*. *Grid* dari domain dapat berupa *grid* yang berstruktur, ataupun *grid* dalam koordinat kartesius atau *grid* non kartesius. Masing-masing *grid* me-

miliki kontrol *face* dan kontrol *node*. Kontrol *face* untuk dua dimensi terdiri dari $\phi_w, \phi_e, \phi_n, \phi_s, \phi_b, \phi_t$ sedangkan kontrol *node* terdiri dari $\phi_W, \phi_E, \phi_N, \phi_S, \phi_B, \phi_T$ (Fatahillah, 2014). Dalam penelitian ini, peneliti akan membuat model matematika dua dimensi tungku pemanas *arc-welding-elektrode* sehingga kontrol *face* adalah $\phi_w, \phi_e, \phi_n, \phi_s$ dan kontrol *node* adalah $\phi_W, \phi_E, \phi_N, \phi_S$ (Fatahillah, 2014). Pembagian volume kendali untuk dua dimensi pada masing-masing *node* diilustrasikan pada Gambar 2.5.

Pendiskritisasian dengan menggunakan metode QUICK untuk merubah nilai pada bidang menjadi nilai pada titik, diilustrasikan seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Diskritisasi QUICK (Fatahillah, 2014)

QUICK scheme pada Apsley (dalam Fatahillah, 2014), untuk kecepatan lebih besar dari nol adalah:

$$\phi_n(i, j) = \phi(i, j) + g_1(\phi(i+1, j) - \phi(i, j)) + g_2(\phi(i, j) - \phi(i-1, j)) \quad (2.1)$$

dengan bobot g_1 :

$$g_1 = \frac{[\phi_n(i, j) - \phi(i, j)][\phi_n(i, j) - \phi(i-1, j)]}{[\phi(i+1, j) - \phi(i, j)][\phi(i+1, j) - \phi(i-1, j)]} \quad (2.2)$$

dan bobot untuk g_2 yaitu:

$$g_2 = \frac{[\phi_n(i, j) - \phi(i, j)][\phi_n(i+1, j) - \phi(i, j)]}{[\phi(i+1, j) - \phi(i, j)][\phi(i+1, j) - \phi(i-1, j)]} \quad (2.3)$$

Berdasarkan diskritisasi QUICK pada Gambar 2.5, maka diperoleh nilai untuk

g_1 dan g_2 , yaitu:

$$g_1 = \frac{(\frac{1}{2}h)(\frac{3}{2}h)}{(h)(2h)} = \frac{3}{8} \quad (2.4)$$

$$g_2 = \frac{(\frac{1}{2}h)(\frac{1}{2}h)}{(h)(2h)} = \frac{1}{8} \quad (2.5)$$

Substitusikan nilai g_1 dan g_2 ke Persamaan 2.7, sehingga diperoleh rumus untuk $\phi_n(i, j)$:

$$\begin{aligned} \phi_n(i, j) &= \phi(i, j) + g_1[\phi(i+1, j) - \phi(i, j)] + g_2[\phi(i, j) - \phi(i-1, j)] \\ &= \phi(i, j) + \frac{3}{8}[\phi(i+1, j) - \phi(i, j)] + \frac{1}{8}[\phi(i, j) - \phi(i-1, j)] \\ &= -\frac{1}{8}\phi(i-1, j) + \frac{3}{4}\phi(i, j) + \frac{3}{8}\phi(i+1, j) \end{aligned} \quad (2.6)$$

Persamaan 2.12 merupakan persamaan dalam bentuk dua dimensi, untuk persamaan dalam bentuk tiga dimensi adalah sebagai berikut:

$$\phi_n(i, j, k) = -\frac{1}{8}\phi(i-1, j, k) + \frac{3}{4}\phi(i, j, k) + \frac{3}{8}\phi(i+1, j, k) \quad (2.7)$$

Dengan cara yang sama, diperoleh nilai $\phi_s(i, j, k)$, $\phi_e(i, j, k)$, $\phi_w(i, j, k)$, $\phi_t(i, j, k)$, dan $\phi_b(i, j, k)$ yaitu:

$$\phi_s(i, j, k) = -\frac{1}{8}\phi(i-2, j, k) + \frac{3}{4}\phi(i-1, j, k) + \frac{3}{8}\phi(i, j, k) \quad (2.8)$$

$$\phi_e(i, j, k) = -\frac{1}{8}\phi(i, j-1, k) + \frac{3}{4}\phi(i, j, k) + \frac{3}{8}\phi(i, j+1, k) \quad (2.9)$$

$$\phi_w(i, j, k) = -\frac{1}{8}\phi(i, j-2, k) + \frac{3}{4}\phi(i, j-1, k) + \frac{3}{8}\phi(i, j, k) \quad (2.10)$$

$$\phi_t(i, j, k) = -\frac{1}{8}\phi(i, j, k-1) + \frac{3}{4}\phi(i, j, k) + \frac{3}{8}\phi(i, j, k+1) \quad (2.11)$$

$$\phi_b(i, j, k) = -\frac{1}{8}\phi(i, j, k-2) + \frac{3}{4}\phi(i, j, k-1) + \frac{3}{8}\phi(i, j, k) \quad (2.12)$$

Keterangan:

g_1 = gaya permukaan 1,

g_2 = gaya permukaan 2,

i = diskritisasi pada sumbu x,

j = diskritisasi pada sumbu y,

- ϕ_n = kontrol permukaan *north* atau utara,
- ϕ_s = kontrol permukaan *south* atau selatan,
- ϕ_e = kontrol permukaan *east* atau timur,
- ϕ_w = kontrol permukaan *west* atau barat.

2.3 Fluida

Fluida didefinisikan sebagai suatu zat yang terus-menerus berubah bentuk apabila mengalami tegangan geser, fluida tidak mampu menahan tegangan geser tanpa berubah bentuk. Fluida ideal didefinisikan sebagai fluida yang tidak viskous; jadi tegangan geser dalam fluida ideal tidak ada, bahkan meskipun fluida itu mengalami deformasi (Olson dan Wright, 1993: 3-4).

Menurut Victor L. Streeter dan E. Benjamin Wylie terjemahan Arko Prijono fluida merupakan zat yang berubah bentuk secara kontinu (terus menerus) jika memperoleh gaya, salah satunya adalah gaya geser. Gaya geser dalam fluida adalah komponen gaya yang menyinggung permukaan, dan gaya ini yang dibagi dengan luas permukaan tersebut adalah tegangan geser rata-rata pada permukaan itu. Fluida diklasifikasikan sebagai fluida Newton atau fluida bukan-Newton. Dalam fluida Newton terdapat hubungan linear antara besarnya tegangan geser yang diterapkan dan laju perubahan bentuk yang diakibatkan (μ) konstan. Dalam fluida bukan-Newton terdapat hubungan taklinear antara besarnya tegangan geser yang diterapkan dan laju perubahan bentuk sudut. Gas dan cairan encer cenderung bersifat fluida-Newton, sedangkan hidrokarbon berantai panjang dan kental bersifat bukan-Newton (Streeter dan Wylie, 1985: 3-5).

2.3.1 Jenis-jenis Fluida

Dilihat dari bentuknya, fluida dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Gas

Gas merupakan salah satu bentuk dari fluida. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa fluida merupakan suatu zat yang bergerak dan berubah bentuk. Dalam hal ini, gas memiliki molekul-molekul yang dapat bergerak secara bebas dan bersifat memenuhi seluruh ruangan yang ditem-

patinya. Gas tidak memiliki permukaan bebas. massanya selalu berkembang mengisi ruangan dan gas juga dapat dimampatkan. Salah satu contohnya adalah asap, seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Fluida Gas
(www.plengdut.com)

2. Cair

Seperti halnya gas, zat cair merupakan suatu zat yang bergerak dan berubah bentuk sesuai dengan tempat yang ditempatinya. Zat cair cenderung mempertahankan volumenya karena memiliki gaya kohesif yang relatif kuat dibanding zat gas dan akan membentuk permukaan bebas. Tidak seperti zat gas, zat cair tidak dapat dimampatkan. Salah satu contoh zat cair adalah air, seperti pada Gambar 2.7.

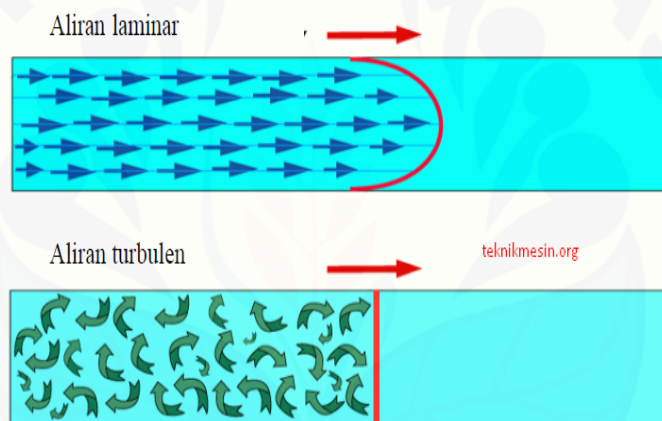


Gambar 2.7 Fluida Cair
(custodianjuui.deviantart.com)

2.3.2 Jenis Aliran Fluida

Aliran dapat diklasifikasikan (digolong-golongkan dalam banyak cara seperti turbulen, laminar, nyata, ideal, mampu balik, tak mampu balik, *steady*, *unsteady*; seragam, tak seragam; rotasional, tak rotasional).

Dalam aliran turbulen sangat sering terjadi dalam teknik perekayasaan. Dalam aliran turbulen partikel-partikel (massa-massa molar yang kecil) fluida bergerak dalam lintasan-lintasan yang sangat tidak teratur, dengan mengakibatkan pertukaran momentum dari satu bagian fluida ke bagian lainnya dengan cara agak menyerupai perpindahan momentum molekular. Dalam situasi yang alirannya dapat turbulen, turbulensi mengakibatkan tegangan geser yang lebih besar di seluruh fluida dan mengakibatkan lebih banyak ketakmampubalikan (*irreversibilitas*) atau kerugian.



Gambar 2.8 Aliran Laminar dan Aliran Turbulen
(www.teknikmesin.org)

Dalam aliran laminar, partikel-partikel fluida bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus serta lancar dalam lamina-lamina, atau lapisan-lapisan, dengan satu lapisan meluncur secara mulus pada lapisan yang bersebelahan. Aliran laminar tidak stabil dalam situasi yang menyangkut gabungan viskositas yang rendah, kecepatan yang tinggi atau laluan aliran yang besar, serta berubah menjadi aliran turbulen (Streeter dan Wylie, 1985: 82-83).

Aliran seragam (*uniform*) terjadi bila percepatannya nol. Vektor kecepatan

pada setiap titik dalam medan aliran itu identik. Aliran boleh tak *steady*, tetapi perubahan kecepatan pada setiap titik harus identik. Garis-garis arus disini lurus. Aliran tak-seragam (*non uniform*) bergantung pada ruang. Fluida tanpa-gesek akan membentuk aliran tak seragam dalam siku pipa (Pitts dan Sissom, 1987:107).

Pada waktu menggunakan pendekatan Eulerian terlihat bahwa aliran fluida, pada umumnya, akan merupakan fungsi dari keempat variabel bebas (x,y,z,t). Jika aliran disetiap titik di dalam fluida tersebut tidak tergantung pada waktu, maka alirannya disebut tunak (*steady*). Jika aliran satu titik berubah-ubah terhadap waktu maka alirannya disebut tak tunak (*unsteady*). Dalam beberapa kasus tertentu mungkin saja suatu aliran yang tak tunak diubah menjadi aliran tunak dengan mengubah kerangka acuannya (*frame of reference*) (Welty et al., 2004: 28).

2.4 Elektroda

Elektroda adalah logam pengisi yang berperan di dalam proses pengelasan. Elektroda juga ikut menentukan kekuatan dari hasil pengelasan, karena itu jenis elektroda harus dipilih sesuai dengan jenis material logam induk karena elektroda ini akan mencair dan menyatu dengan logam induk.

Fungsi elektroda adalah menghantarkan tegangan listrik dan mengerosi benda kerja menjadi bentuk yang diinginkan. Bahan elektroda yang berbeda memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap proses pemesinan dan merencanakan cara pembuatannya (Junaidi dan Seprianto, 2011).



Gambar 2.9 Elektroda
(Rad dan Ashrafizadeh, 2012)



Gambar 2.10 Elektroda yang siap dipanaskan
(Rad dan Ashrafizadeh, 2012)

Elektroda perlu disimpan di tempat yang kering dan hangat, kira-kira 10°C hingga 150°C dengan kelembapan udara tidak melebihi 40 dan dipergunakan berurutan misalnya elektroda baru tidak ditumpuk di atas yang lama. Kadang-kadang elektroda yang sudah sangat lama mempunyai lapisan bulu berwarna putih yang disebabkan oleh kaca air pada elektroda. Elektroda harus ditumpuk dengan hati-hati dan jangan dijatuhkan yang akan menyebabkan retak dan terkelupasnya lapisan (Kenyon, 1985: 95).

2.5 Tungku Pemanas *ARC-Welding-Electrode*

Ada banyak aplikasi teknik, seperti pengeringan kertas, akhir termal pelapis dan prosedur perlakuan panas, dimana beban dan produk bergerak terus-menerus sepanjang tungku saat dipanaskan. Tungku ini adalah tungku terus-menerus. Ada tiga metode analisis untuk transfer panas dalam tungku industri. Pada dimensi nol *stirred-vessel* menghasilkan model kecepatan *transfer* panas total tanpa informasi tentang distribusi spasial fluks panas pada beban. Model ini telah berhasil dan diterapkan untuk tungku tanpa variasi aksial signifikan suhu gas rata-rata. Pada satu dimensi model *plug-flow* mampu memprediksi fluks panas lokal di sepanjang tungku. Metode analisis yang lengkap adalah *multidimensional model*. (Rad dan Ashrafizadeh, 2012). Tungku yang dibahas dalam penelitian ini adalah tungku pemanas *arc-welding-electrode* yang digunakan untuk mengeringkan elektroda. Model analisis yang digunakan adalah *multidimensional model* karena

merupakan metode analisis yang lengkap untuk tungku pemanas ini.



Gambar 2.11 Tungku Pemanas



Gambar 2.12 Tungku Pemanas

2.6 Perpindahan Panas

Perpindahan kalor (*heat transfer*) ialah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Ilmu perpindahan kalor tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi kalor itu berpindah dari suatu benda ke benda lain, tetapi juga dapat meramalkan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Terdapat tiga modus perpindahan kalor, yaitu konduksi atau hantaran, konveksi atau aliran, dan radiasi atau sinaran (Holman, 1993: 1-2).

Transfer panas yang disebabkan konveksi melibatkan pertukaran energi antara suatu permukaan dengan fluida di dekatnya. Suatu perbedaan harus dibuat antara konveksi paksa (*forced convection*), dimana suatu fluida dibuat mengalir melalui suatu permukaan padat oleh suatu komponen eksternal (*external agent*) seperti kipas atau pompa, dan konveksi bebas atau konveksi alami, dimana fluida yang lebih panas (atau lebih dingin) di dekat batas padatan akan menyebabkan sirkulasi karena adanya perbedaan densitas yang dihasilkan dari variasi temperatur di seluruh daerah dari fluida tersebut (Welty, et al., 2002: 8).

$$Q = h.A.(T_1 - T) \quad (2.13)$$

dengan,

Q = Laju perpindahan panas secara konveksi,

h = Koefisien konveksi,

A = Luas permukaan,

T_1 = Suhu akhir,

T = Suhu awal (Koestoer, 2002:11).

2.7 Algoritma dan Pemrograman MATLAB

2.7.1 Algoritma dan Pemrograman

Algoritma adalah suatu strategi yang disusun dalam bentuk urutan langkah-langkah secara sistematis dan logis untuk menyelesaikan suatu masalah. Kata logis merupakan kata kunci dalam algoritma. Logis berarti langkah-langkah dalam algoritma harus dapat ditentukan nilai benar atau salahnya. Pada umum-

nya, langkah-langkah pada algoritma dibagi menjadi tiga, yaitu masukan (*input*), proses, dan keluaran (*output*). Masukan atau input merupakan perintah-perintah berupa masukan yang akan diproses dalam algoritma. Proses merupakan kegiatan pelaksanaan algoritma yang telah dibuat. Subyek yang mengerjakan proses disebut pemroses. Dan keluaran (*output*) adalah hasil yang diperoleh setelah input dan proses telah dilakukan.

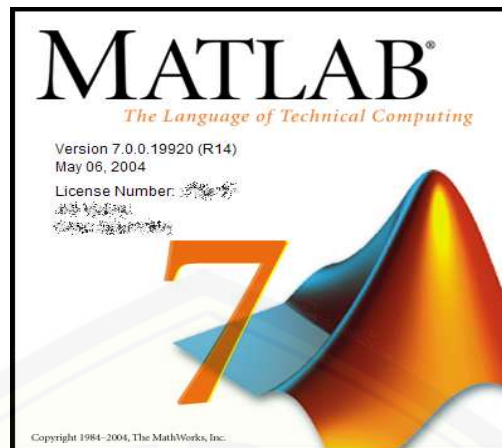
Beberapa karakteristik atau syarat algoritma:

1. Algoritma harus tidak ambigu (*unambiguous*)
Deskripsi langkah-langkah dalam algoritma harus dan hanya mempunyai tafsiran tunggal.
2. Algoritma harus tepat (*precise*)
Algoritma harus menyatakan urutan langkah-langkahnya. Kapan sebuah langkah atau langkah x dilakukan, apakah sebelum langkah y atau sesudahnya, harus dinyatakan dengan jelas.
3. Algoritma harus pasti (*definite*)
Jika serangkaian langkah yang sama dilakukan dua kali maka hasilnya harus selalu sama (Wahid, 2004).

2.7.2 MATLAB 7.0 (*Matrix Laboratory*)

Perangkat lunak MATLAB adalah sistem interaktif dengan elemen dasar basis data array yang dimensinya tidak perlu dinyatakan secara khusus. Hal ini memungkinkan untuk memecahkan banyak masalah perhitungan teknik. Khususnya yang melibatkan matriks dan vektor. Secara umum MATLAB digunakan dalam beberapa bidang sebagai berikut:

1. Matematika dan komputasi.
2. Pengembangan algoritma.
3. Pemodelan, simulasi, dan pembuatan Prototype.
4. Analisis data, eksplorasi, dan visualisasi.
5. Pembuatan aplikasi, termasuk pembuatan antarmuka grafis.



Gambar 2.13 Tampilan MATLAB 7.0

Tampilan MATLAB 7.0 dapat dilihat pada Gambar 2.12.

MATLAB (MATriks LABoratory) juga menyediakan beberapa fasilitas, antara lain sebagai berikut:

- Manipulasi mudah untuk membentuk matriks.
- Sejumlah rutin terpasang di dalam yang bisa dimodifikasi dan dikembangkan.
- Fasilitas canggih untuk mendapatkan gambar dimensi dua atau tiga.
- Kemudahan untuk menuliskan program yang singkat, sederhana, dan dikembangkan sesuai kebutuhan (Pujiyanta, 2007: 297-298).

Pada awalnya, program ini merupakan *interface* untuk koneksi rutin-rutin numerik proyek LINPACK dan EISPACK, dikembangkan menggunakan bahasa FORTRAN. Namun sekarang, program ini merupakan produk komersial dari perusahaan Mathwork, Inc. yang dalam perkembangan selanjutnya dikembangkan menggunakan bahasa C++ dan *assembler* (terutama untuk fungsi dasar MATLAB). MATLAB telah berkembang menjadi sebuah *environment* pemrograman yang canggih dan berisi fungsi-fungsi built-in untuk melakukan program pengolahan sinyal, aljabar linier, dan kalkulasi matematis lainnya. MATLAB juga berisi *toolbox* yang berisi fungsi-fungsi tambahan untuk aplikasi khusus. MATLAB berisi *extensible*, dalam arti bahwa seorang pengguna dapat menulis fungsi-fungsi baru untuk ditambahkan di *library* jika fungsi-fungsi *built-in* yang tersedia tidak dapat melakukan tugas tertentu (Arhami dan Desiani, 2005: 1).

2.8 Metode Gauss Seidell

Secara umum, penyelesaian suatu persamaan linier dapat menggunakan dua metode yaitu metode langsung dan metode iteratif (metode tak langsung). Metode langsung seperti metode invers, eliminasi Gauss, dan dekomposisi LU. Metode iteratif merupakan metode dengan penentuan nilai awal x_0 untuk membangun sebuah urutan aproksimasi terbaik terhadap pemecahan eksak. Termasuk metode iteratif seperti iterasi *Jacobi*, iterasi *Gauss-Seidell*, dan iterasi *SOR*.

Suatu sistem persamaan linier dapat dituliskan dengan bentuk $AX = B$, dengan A merupakan matriks koefisien dari x , X merupakan matriks variabel sistem persamaan, dan B merupakan matriks konstanta dari sistem persamaan. Sistem $AX = B$ dan Q adalah matriks *non-singular* dapat dituliskan dalam bentuk:

$$AX = B \quad (2.14)$$

$$(Q - A)X + AX = (Q - A)X + B$$

$$QX = (Q - A)X + B \quad (2.15)$$

Selanjutnya dapat dituliskan dalam bentuk iterasi ke- k :

$$QX^{(k)} = (Q - A)X^{(k-1)} + B, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.16)$$

Sebuah matriks A dapat dituliskan dalam bentuk $A = L + D + U$, dengan L adalah matriks segitiga bawah, D adalah matriks diagonal, dan U adalah matriks segitiga atas. Pada iterasi Gauss-Seidel dipilih $Q = D + L$, tetapi pada iterasi *SOR* dipilih $Q = \frac{1}{\omega}D + L$ dengan ω adalah faktor skala. Sehingga Persamaan (2.16) menjadi:

$$\begin{aligned} QX^{(k)} &= (Q - A)X^{(k-1)} + B \\ \left(\frac{1}{\omega}D + L\right)X^{(k)} &= \left(\frac{1}{\omega}D + L - A\right)X^{(k-1)} + B \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{\omega}DX^{(k)} &= -LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1 \right) D + D + L - A \right) X^{(k-1)} + B \\
 \frac{1}{\omega}DX^{(k)} &= -LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1 \right) D - U \right) X^{(k-1)} + B \\
 \omega D^{-1} \left(\frac{1}{\omega}DX^{(k)} \right) &= \omega D^{-1} \left[-LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1 \right) D - U \right) X^{(k-1)} + B \right] \\
 X^{(k)} &= \omega D^{-1} \left[-LX^{(k)} + \left(\frac{1}{\omega}D - D - U \right) X^{(k-1)} + B \right] \\
 X^{(k)} &= -\omega D^{-1}LX^{(k)} + (1 - \omega - \omega D^{-1}U) X^{(k-1)} + \omega D^{-1}B \\
 X^{(k)} &= (1 - \omega)X^{(k-1)} - \omega D^{-1}LX^{(k)} - \omega D^{-1}UX^{(k-1)} + \omega D^{-1}B \\
 X^{(k)} &= (1 - \omega)X^{(k-1)} - \omega D^{-1} (LX^{(k)} + UX^{(k-1)} - B) \quad (2.17)
 \end{aligned}$$

untuk $k = 1, 2, 3, \dots$. Sistem persamaan linier merupakan sistem persamaan dengan pangkat dari variabelnya adalah 1. Sistem persamaan linier dengan n persamaan dan n variabel dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\
 a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\
 a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + \dots + a_{3n}x_n &= b_3 \\
 &\vdots \\
 a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + a_{n3}x_3 + \dots + a_{nn}x_n &= b_n
 \end{aligned} \quad (2.18)$$

dapat dituliskan dalam bentuk pemecahan mulai x_1 sampai x_n seperti berikut:

$$\begin{aligned}
x_1 &= \frac{1}{a_{11}}(b_1 - a_{12}x_2 - a_{13}x_3 - \cdots - a_{1n}x_n) \\
x_2 &= \frac{1}{a_{22}}(b_2 - a_{21}x_1 - a_{23}x_3 - \cdots - a_{2n}x_n) \\
x_3 &= \frac{1}{a_{33}}(b_3 - a_{31}x_1 - a_{32}x_2 - \cdots - a_{3n}x_n) \\
&\vdots \\
x_n &= \frac{1}{a_{nn}}(b_n - a_{n1}x_1 - a_{n2}x_2 - \cdots - a_{nn-1}x_{n-1})
\end{aligned} \tag{2.19}$$

Pada iterasi Gauss-Seidel nilai x_1 yang telah diperoleh dimasukkan kedalam x_2 yang akan dicari, karena nilai x_1 yang diperoleh lebih dekat dengan nilai eksak. Selanjutnya untuk mencari nilai x_3 maka tinggal memasukkan nilai x_1 dan x_2 yang telah diperoleh. Dan seterusnya sampai diperoleh akar dari sistem persamaan tersebut. Berikut contoh langkah-langkah penyelesaiannya:

o iterasi ke-1

$$\begin{aligned}
x_1^1 &= \frac{1}{a_{11}}(b_1 - a_{12}x_2^0 - a_{13}x_3^0 - \cdots - a_{1n}x_n^0) \\
x_2^1 &= \frac{1}{a_{22}}(b_2 - a_{21}x_1^1 - a_{23}x_3^0 - \cdots - a_{2n}x_n^0) \\
x_3^1 &= \frac{1}{a_{33}}(b_3 - a_{31}x_1^1 - a_{32}x_2^1 - \cdots - a_{3n}x_n^0) \\
&\vdots \\
x_n^1 &= \frac{1}{a_{nn}}(b_n - a_{n1}x_1^1 - a_{n2}x_2^1 - \cdots - a_{nn-1}x_{n-1}^1)
\end{aligned} \tag{2.20}$$

o iterasi ke-2

$$\begin{aligned}
x_1^2 &= \frac{1}{a_{11}}(b_1 - a_{12}x_2^1 - a_{13}x_3^1 - \cdots - a_{1n}x_n^1) \\
x_2^2 &= \frac{1}{a_{22}}(b_2 - a_{21}x_1^2 - a_{23}x_3^1 - \cdots - a_{2n}x_n^1) \\
x_3^2 &= \frac{1}{a_{33}}(b_3 - a_{31}x_1^2 - a_{32}x_2^2 - \cdots - a_{3n}x_n^1) \\
&\vdots \\
x_n^2 &= \frac{1}{a_{nn}}(b_n - a_{n1}x_1^2 - a_{n2}x_2^2 - \cdots - a_{nn-1}x_{n-1}^2)
\end{aligned} \tag{2.21}$$

- o dan seterusnya sampai langkah k .

Sehingga untuk mencari nilai x_i menggunakan iterasi Gaus-Seidel dengan langkah $k = 1, 2, 3, \dots$ adalah,

$$x_i^k = \frac{1}{a_{ii}} \left(b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij} x_j^k - \sum_{j=1+1}^n a_{ij} x_j^{k-1} \right) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.22)$$

Sedangkan untuk mencari nilai x_i menggunakan iterasi SOR dengan $i = 1, 2, 3, \dots, n$ untuk langkah k adalah,

$$x_i^k = (1 - \omega)x_i^{k-1} + \frac{\omega}{a_{ii}} \left(b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij} x_j^k - \sum_{j=1+1}^n a_{ij} x_j^{k-1} \right) \quad (2.23)$$

Pada persamaan (2.6) dan (2.12), untuk $\omega = 1$ akan diperoleh metode Gauss Seidell. Metode Gauss Seidell inilah yang akan digunakan untuk menyelesaikan sistem persamaan linear yang muncul dalam penyelesaian numerik dari persamaan diferensial parsial tertentu.

2.8.1 Galat atau *Error*

Di dalam komputasi numerik, hal yang harus diperhatikan selain kecepatan adalah keakuratan penyelesaian yang diperoleh. Karena didalam penyelesaian komputasi numerik biasanya merupakan suatu hampiran, sehingga memuat galat (kesalahan numerik).

Menurut Volkov, 1990 (dalam Sahid, 2005: 3) ada beberapa sumber galat (*error*) pada suatu hampiran penyelesaian yang diperoleh dengan menggunakan suatu metode komputasi numerik:

1. Model matematika suatu fenomena alam.
2. Galat bawaan dari data masukan (parameter masukan).
3. Metode penyelesaian.
4. Adanya pembulatan di dalam melakukan operasi-operasi aritmetika atau operasi-operasi jenis lain pada bilangan-bilangan yang terkait.

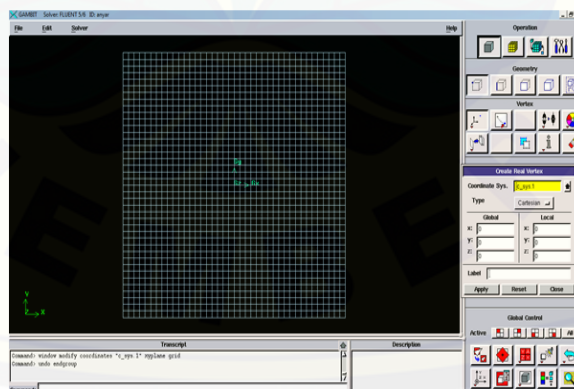
Selain sumber-sumber tersebut, kesalahan numerik juga dapat disebabkan oleh kekurangcermatan (manusia), pemakaian alat ukur dan penggunaan mesin hitung/kalkulator/komputer. Galat suatu hampiran yang disebabkan oleh kekurangtelitian model matematika dan oleh galat bawaan dari data masukan bersifat warisan/bawaan (inherent). Galat ini mungkin tetap sekalipun penyelesaiannya diperoleh dengan menggunakan metode eksak.

Suatu algoritma yang menghasilkan galat kumulatif yang terbatas sehingga hampiran yang diperoleh memenuhi tingkat keakuratan tertentu, disebut algoritma stabil. Algoritma yang menghasilkan galat kumulatif yang merusak hampiran penyelesaian yang diperoleh sehingga hampirannya tidak akurat, dikatakan algoritma tidak stabil (Sahid, 2005: 5).

2.9 Perangkat Lunak Dalam CFD

2.9.1 GAMBIT (*Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit*)

GAMBIT (*Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit*) merupakan salah satu *pre-processor* yang didesain untuk membantu membuat model dan melakukan diskritisasi (*meshing*) pada model untuk analisis CFD (Tuakia, 2008: 9). GAMBIT sangat membantu dalam proses menyeketsa atau mengkonstruksi suatu model. *Software* ini dibekali dengan beberapa alat atau menu yang memudahkan kita untuk mengonstruksi serta menganalisis suatu objek. Tampilan GAMBIT dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.14 Tampilan GAMBIT

GAMBIT dapat membuat model dan melakukan diskritisasi (*meshing*) untuk

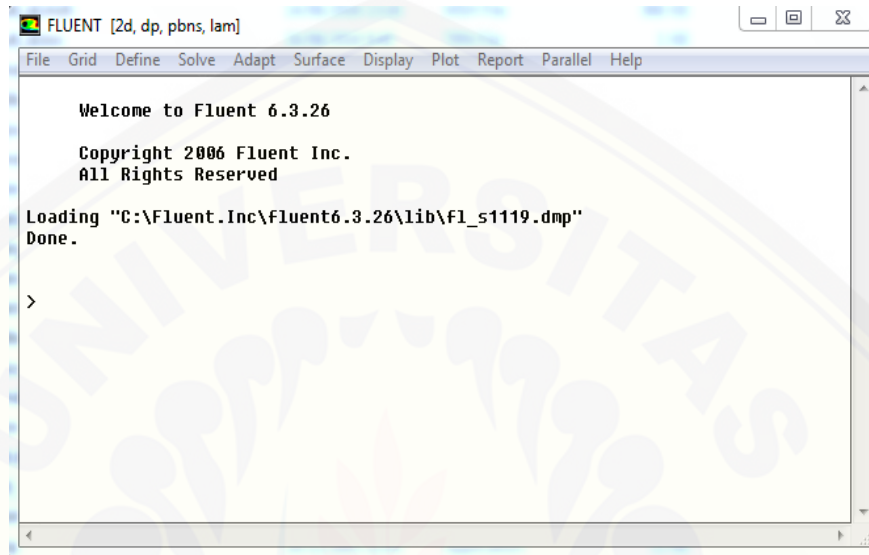
berbagai macam bentuk (2 dimensi atau 3 dimensi), termasuk bentuk-bentuk yang rumit dan tidak beraturan. Hal ini dikarenakan GAMBIT dapat melakukan *meshing* dengan berbagai macam *mesh*, yaitu *mesh* heksahedral terstruktur dan tidak terstruktur, tetrahedral, piramid, dan prisma. *Meshing* pada GAMBIT akan mempartisi serta membagi sketsa dari objek yang akan diteliti sehingga akan memudahkan peneliti untuk melakukan komputasi.

2.9.2 FLUENT

FLUENT adalah salah satu jenis program CFD yang menggunakan metode volume hingga (Tuakia, 2008: 133). FLUENT menyediakan fleksibilitas *mesh* yang lengkap, sehingga dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan *mesh* (*grid*) yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah. Setelah merencanakan analisis CFD pada model, langkah-langkah umum penyelesaian analisis CFD pada FLUENT sebagai berikut:

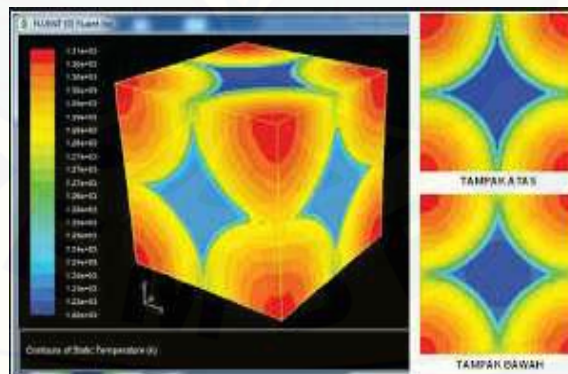
1. Membuat geometri dan *mesh* pada model.
2. Memilih *solver* yang tepat untuk model tersebut (2D atau 3D).
3. Mengimpor *mesh* model (*grid*).
4. Melakukan pemeriksaan pada *mesh* model.
5. Memilih *solver*.
6. Memilih persamaan dasar yang akan dipakai dalam analisis, misalnya: laminar, turbulen, reaksi kimia, perpindahan kalor, dan lain-lain.
7. Menentukan sifat material yang akan dipakai
8. Menentukan kondisi batas.
9. Mengatur parameter kontrol solusi.
10. *Initialize the flow field*.
11. Melakukan perhitungan/iterasi.
12. Memeriksa hasil iterasi.
13. Menyimpan hasil iterasi.

Dari langkah-langkah di atas, Fluent dapat menghasilkan simulasi yang berupa gambaran yang mendekati kondisi sebenarnya. Kita juga bisa memasukkan indikator-indikator yang sesuai dengan data-data yang kita peroleh dari pengamatan. Untuk fluida, kita bisa memasukkan suhu, kecepatan, serta tekanan yang ada pada objek sebenarnya.



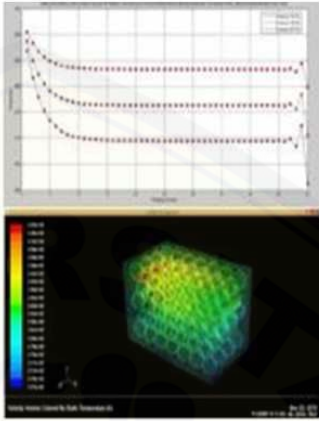
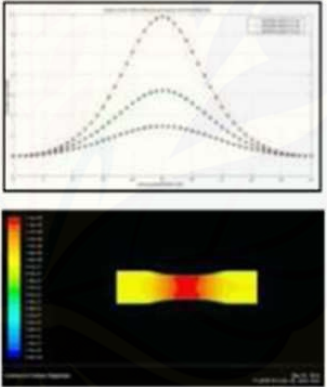
Gambar 2.15 Tampilan FLUENT

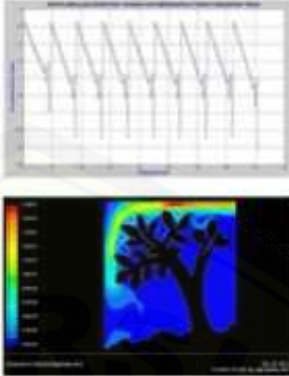
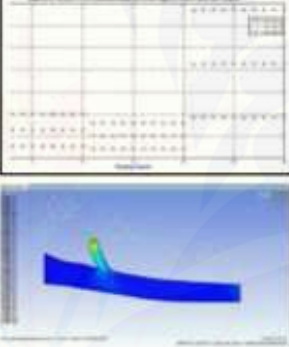
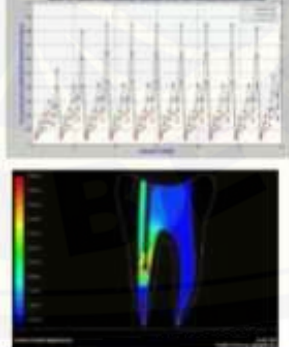
Contoh peristiwa dalam kehidupan sehari-hari yang dapat disimulasikan menggunakan FLUENT:

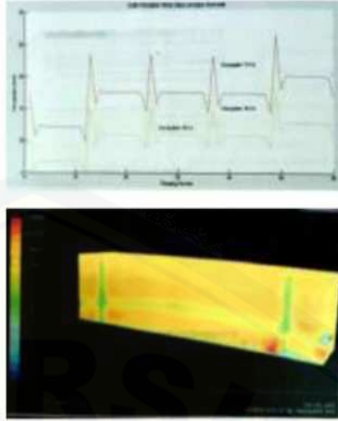
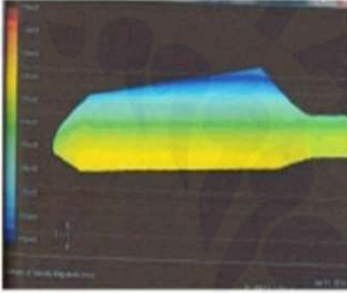
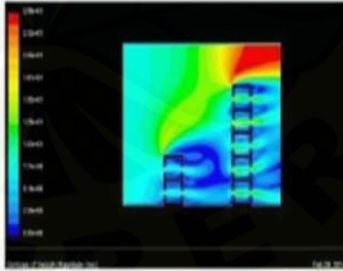


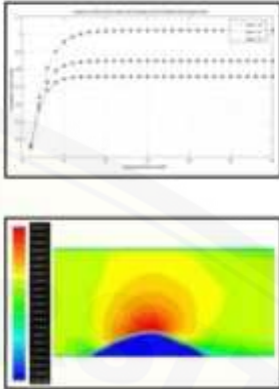
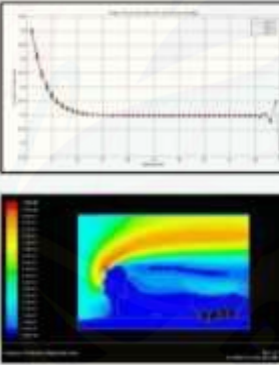
Gambar 2.16 Contoh FLUENT

Beberapa contoh penggunaan CFD dalam penelitian murni dapat dilihat pada tabel berikut:

No	Metode Volume Hingga	Simulasi CFD	Publikasi
1.	<p>Model Matematika :</p> $\begin{aligned} & \phi_e(\rho u \Delta y \Delta t - \rho \Delta y \Delta t) \\ & + \phi_w(-\rho u \Delta y \Delta t + \rho \Delta y \Delta t) \\ & + \phi_n(\rho u \Delta x \Delta t - \rho \Delta x \Delta t) \\ & + \phi_s(-\rho u \Delta x \Delta t + \rho \Delta x \Delta t) \\ & = -\frac{\rho}{c} \lambda_{eff} \phi_0 \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} \\ & - \frac{2\rho}{c} \lambda_{eff} \phi_0 \Delta t - \frac{\rho}{c} \lambda_{eff} \phi_0 \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta x} \\ & + \frac{\rho^2}{c} \beta c u' \phi_0' \Delta y \Delta t \\ & + \frac{\rho^2}{c} \beta c u' \phi_0' \Delta x \Delta t - P \Delta y \Delta t \\ & - P \Delta x \Delta t - \rho g \Delta y \Delta t + \rho g \Delta x \Delta t \\ & + 2\mu u \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + \mu u \Delta t + \mu v \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} \\ & + 2\mu v \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} + \mu u \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} + \mu v \Delta t \\ & - \rho u \Delta y \Delta t - \rho v \Delta x \Delta t \end{aligned}$		<p>Chudin, Soleh. 2015. <i>Analisis Simulasi Sirkulasi Udara dalam Optimasi Teknologi Pascapanen Buah Berdasarkan Prosedur Pengemasan dan Sebagai Bahan Ajar</i>. Skripsi. Jember: Program Studi Pendidikan Matematika FKIP</p>
2.	<p>Model Matematika :</p> $\begin{aligned} & \phi_w \rho u \Delta t - \phi_w \rho \Delta t \\ & - \phi_e \rho u \Delta t - \phi_e \rho \Delta t \\ & = -p \Delta t + 2\mu \frac{u}{\Delta x} \Delta t \end{aligned}$ <p>dimana</p> $p = \frac{Q8\eta l}{\pi r^4}$		<p>Zauri, A. S. 2014. <i>Analisis Numerik Aliran Darah pada Penyempitan Pembuluh Darah Arteri Menggunakan Metode Volume Hingga</i>. Skripsi. Jember: Program Studi Pendidikan Matematika FKIP</p>

No	Metode Volume Hingga	Simulasi CFD	Publikasi
3.	<p>Model Matematika:</p> $ \begin{aligned} &(\phi_n - \phi_e) \rho \Delta y \Delta t - (\phi_n - \phi_e) \rho u \cos \theta \Delta y \Delta t + \\ &(\phi_e - \phi_s) \rho \Delta x \Delta t - (\phi_e - \phi_s) \rho v \sin \theta \Delta x \Delta t = \Delta y \Delta t \\ &\left(\rho g - p - \rho \left(-\rho u' + 2\mu u' - \frac{1}{2} \rho u' v' \right) \right) + \Delta x \Delta t \\ &\left(\rho g - p - \rho \left(-\rho v' + 2\mu v' - \frac{1}{2} \rho u' v' \right) \right) + 2\rho \mu \\ &\left(u' \Delta y \Delta t + \frac{1}{2} (u' \Delta x \Delta t + v' \Delta y \Delta t) + v' \Delta x \Delta t \right) + \\ &\rho^2 u' v' \left(u \Delta y \Delta t + \frac{1}{2} (u \Delta x \Delta t + v \Delta y \Delta t) + v \Delta x \Delta t \right) \\ &+ \mu v_x \left(2 \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} \right) + \left(\frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + 2 \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} \right) \end{aligned} $		<p>Nurrohim, M.2014. <i>Analisis Sirkulasi Udara pada Tanaman Kopi Berdasarkan Tingkat Kekasaran Tanah dan Pola Tanam Graf Tangga Segitiga menggunakan Metode Volume Hingga</i>. Skripsi. Jember: Program Studi Pendidikan Matematika FKIP.</p>
4.	<p>Model Matematika :</p> $ \begin{aligned} &v_x \Delta y \Delta t (1 - \rho) C_e + v_x \Delta y \Delta t (\rho - 1) C_w \\ &+ v_y \Delta x \Delta t (1 - \rho) C_e + v_y \Delta x \Delta t (\rho - 1) C_w \\ &= \rho g \Delta y \Delta t + \rho g \Delta x \Delta t - \rho \Delta y \Delta t + \rho \Delta x \Delta t \\ &+ 2\mu \left(v_x \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + v_y \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} \right) + \\ &\mu (v_x \Delta t + v_y \Delta t) + \\ &\mu \left(v_x \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} + v_y \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} \right) - D_x \frac{C \Delta y \Delta t}{\Delta x} \\ &- D_y \frac{C \Delta x \Delta t}{\Delta y} \end{aligned} $		<p>Gangga, M.2014. <i>Analisis Model Matematika Proses Penyebaran Limbah Cair pada Air Tanah</i>. Skripsi. Jember: Program Studi Pendidikan Matematika FKIP.</p>
5.	<p>Model Matematika :</p> $ \begin{aligned} &\phi_e (-\rho \Delta y \Delta t - \rho u \cos \theta \Delta y \Delta t) + \\ &\phi_w (\rho \Delta y \Delta t + \rho u \cos \theta \Delta y \Delta t) + \\ &\phi_s (-\rho \Delta x \Delta t - \rho v \sin \theta \Delta x \Delta t) + \\ &\phi_n (\rho \Delta x \Delta t - \rho v \sin \theta \Delta x \Delta t) = -\rho \Delta y \Delta t \\ &- \rho \Delta x \Delta t + \rho g \Delta y \Delta t + \rho g \Delta x \Delta t + \\ &2\mu \frac{u}{\Delta x} \Delta y \Delta t + \mu \frac{v}{\Delta x} \Delta y \Delta t + \mu \frac{u}{\Delta x} \Delta x \Delta t \\ &+ 2\mu \frac{v}{\Delta x} \Delta x \Delta t \end{aligned} $		<p>Hardiyanti, S. A. 2014. <i>Analisis Sterilisasi Saluran Akar Gigi dengan menggunakan Metode Numerik Volume Hingga</i>. Skripsi. Jember: Program Studi Pendidikan Matematika FKIP.</p>

<p>6.</p>	<p>Model Matematika :</p> $(c_x - u)\phi_w \rho \Delta y + (c_y - u)\phi_s \rho \Delta x + (u - c_x)\phi_c \rho \Delta y + (v - c_y)\phi_n \rho \Delta x = (\rho g - p)\Delta x + (\rho g - p)\Delta y + (2\mu u + \mu v - K\phi_0) \frac{\Delta y}{\Delta x} + (2\mu v + \mu u - K\phi_0) \frac{\Delta x}{\Delta y} + (u + v)\mu$		<p>Aprianto.D.2013. <i>Analisis Aliran Udara pada Jembatan Suramadu dengan Menggunakan Metode Volume Hingga.</i> Skripsi.Jember: Program Studi Pendidikan Matematika FKIP.</p>
<p>7.</p>	<p>Model Matematika :</p> $\begin{aligned} &((u - w)\rho\phi_c \Delta y + (-u + w)\rho\phi_n \Delta y) + \\ &((v - w)\rho\phi_s \Delta x + (-v + w)\rho\phi_e \Delta x) = \\ &((-P + \rho f)\Delta y) + ((-P + \rho f)\Delta x) + \\ &\left((2\mu u + \mu v - \tau_w) \frac{\Delta y}{\Delta x} \right) + \\ &\left((2\mu v + \mu u - \tau_w) \frac{\Delta y}{\Delta x} \right) + \\ &((Y_w - G_w - D_w - S_w)\Delta x \Delta y) + \\ &(\mu u + \mu v - 2\tau_w) \end{aligned}$		<p>Zahroh, M. 2014. <i>Pemodelan Wind Turbine Rotor Tipe HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine) Menggunakan Metode Volume Hingga.</i> Skripsi. Jember: Program Studi Pendidikan Matematika FKIP.</p>
<p>8.</p>	<p>Model Matematika :</p> $\begin{aligned} &(\rho u \Delta y - u \Delta y)\phi_c + (u \Delta y - \rho u \Delta y)\phi_n + \\ &(\rho v \Delta x - v \Delta x)\phi_s + (v \Delta x - \rho v \Delta x)\phi_e = \\ &-C\phi_0 \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} + \frac{\Delta x}{\Delta y} \right) - 2\mu(u \Delta y)^2 - \\ &\mu(u \Delta x + u \Delta y)^2 - 2\mu(u \Delta x)^2 - P \Delta y - \\ &P \Delta x + \rho(g \Delta y + g \Delta x) + 2\mu u \frac{\Delta y}{\Delta x} + \\ &\mu \left(u + v \frac{\Delta y}{\Delta x} \right) + \mu \left(u \frac{\Delta x}{\Delta y} + v \right) + 2\mu v \frac{\Delta x}{\Delta y} \end{aligned}$		<p>Susanto, J. 2014. <i>Analisis Kecepatan Aliran Udara pada Gedung Bertingkat Karena Pengaruh Penghalang Didepannya.</i> Skripsi. Jember: Program Studi Pendidikan Matematika FKIP.</p>

No	Metode Volume Hingga	Simulasi CFD	Publikasi
9.	<p>Model Matematika :</p> $\phi_e(\rho u - \rho)\Delta y\Delta t - \phi_w(\rho u - \rho)\Delta y\Delta t + \phi_n(\rho v - \rho)\Delta x\Delta t - \phi_s(\rho v - \rho)\Delta x\Delta t =$ $-P\Delta y\Delta t - P\Delta x\Delta t + \frac{\mu u\Delta y\Delta t}{\Delta x} + 2\mu u\Delta t + \frac{\mu v\Delta y\Delta t}{\Delta x} + \frac{\mu u\Delta y\Delta t}{\Delta y} + 2\mu v\Delta t + \frac{\mu v\Delta x\Delta t}{\Delta y} + \mu\left(\frac{2u}{\Delta x}\Delta y\Delta t + \frac{v}{\Delta x}\Delta y\Delta t\right)(\rho - \rho u)$ $- \rho\left(g + \frac{\partial \tau}{\sigma_K}\right)K\frac{\Delta y\Delta t}{\Delta x} - 2\rho\left(g + \frac{\partial \tau}{\sigma_K}\right)K\Delta t - \rho\left(g + \frac{\partial \tau}{\sigma_K}\right)K\frac{\Delta x\Delta t}{\Delta y}$		<p>Rizal. A.S. 2014. <i>Analisis Sirkulasi Udara pada Tanaman Kopi Berdasarkan Tingkat Kemiringan Tanah dan Pola Tanam Graf Tangga Segitiga menggunakan Metode Volume Hingga</i>. Skripsi. Jember: Program Studi Pendidikan Matematika FKIP.</p>
10.	<p>Model Matematika :</p> $\phi_e(\rho u\Delta y\Delta t - \rho\Delta y\Delta t) + \phi_w(-\rho u\Delta y\Delta t + \rho\Delta y\Delta t) + \phi_n(\rho v\Delta x\Delta t - \rho\Delta x\Delta t) + \phi_s(-\rho v\Delta x\Delta t + \rho\Delta x\Delta t) =$ $-2\rho\mu u\frac{\Delta y\Delta t}{\Delta x} - 2\rho\eta v\frac{\Delta x\Delta t}{\Delta y} - \rho\eta v\frac{\Delta y\Delta t}{\Delta x} - 2\rho\eta uv\Delta t - \rho\eta u\frac{\Delta x\Delta t}{\Delta y} - p\Delta y\Delta t - p\Delta x\Delta t + \rho g\Delta y\Delta t + \rho g\Delta x\Delta t + 2\mu u\frac{\Delta y\Delta t}{\Delta x} + 2\mu v\frac{\Delta x\Delta t}{\Delta y} + \mu v\frac{\Delta y\Delta t}{\Delta x} + \mu v\frac{\Delta x\Delta t}{\Delta y} + \mu u\Delta t + \mu v\Delta t$		<p>Trisnani. D. 2014. <i>Analisis Sirkulasi Udara pada Tanaman Kopi Berdasarkan Faktor Tanaman Pelindung dan Pola Tanam Graf Tangga menggunakan Metode Volume Hingga</i>. Skripsi. Jember: Program Studi Pendidikan Matematika FKIP.</p>

Tabel 2.1 Penggunaan CFD dalam Penelitian Murni

2.10 Monograf

Monograf merupakan sebutan lain untuk buku, dan digunakan untuk membedakan terbitan tersebut dengan terbitan berseri. Monograf berisi satu topik atau sejumlah topik (subjek) yang berkaitan, dan biasanya ditulis oleh satu orang. Selain itu, monograf merupakan terbitan tunggal yang selesai dalam satu jilid dan tidak berkelanjutan. Dalam ilmu perpustakaan, definisi monograf adalah terbitan yang bukan terbitan berseri yang lengkap dalam satu volume atau sejumlah volume yang sudah ditentukan sebelumnya (Kemala, 2014). Contoh dari monograf adalah Seri Management, oleh TM. Lilico.

Adapun beberapa syarat dari suatu monograf adalah sebagai berikut:

1. Isinya memnahas satu permasalahan pokok.
2. Berjilid.
3. Terdapat halaman judul.
4. Terdapat daftar isi.
5. Terdapat lembar pendahuluan dan / atau kata pengantar.
6. Terbit dalam satu jilid atau beberapa volume dengan bentuk jilid sama.
7. Umumnya memiliki ISBN (*International Standard Book Number*).

Pada luaran penelitian ini nantinya akan dibuat sebuah monograf yang berisikan bagaimana model matematika dan simulasi perpindahan panas yang terjadi dalam tungku pemanas *arc-welding-elektrode*.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Berdasarkan jenisnya, penelitian ini merupakan jenis penelitian murni. Pada penelitian ini, peneliti memodelkan perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-elektrode* sehingga didapat kecepatan aliran turbulen berdasarkan dengan data-data yang diperoleh.

3.2 Prosedur Penelitian

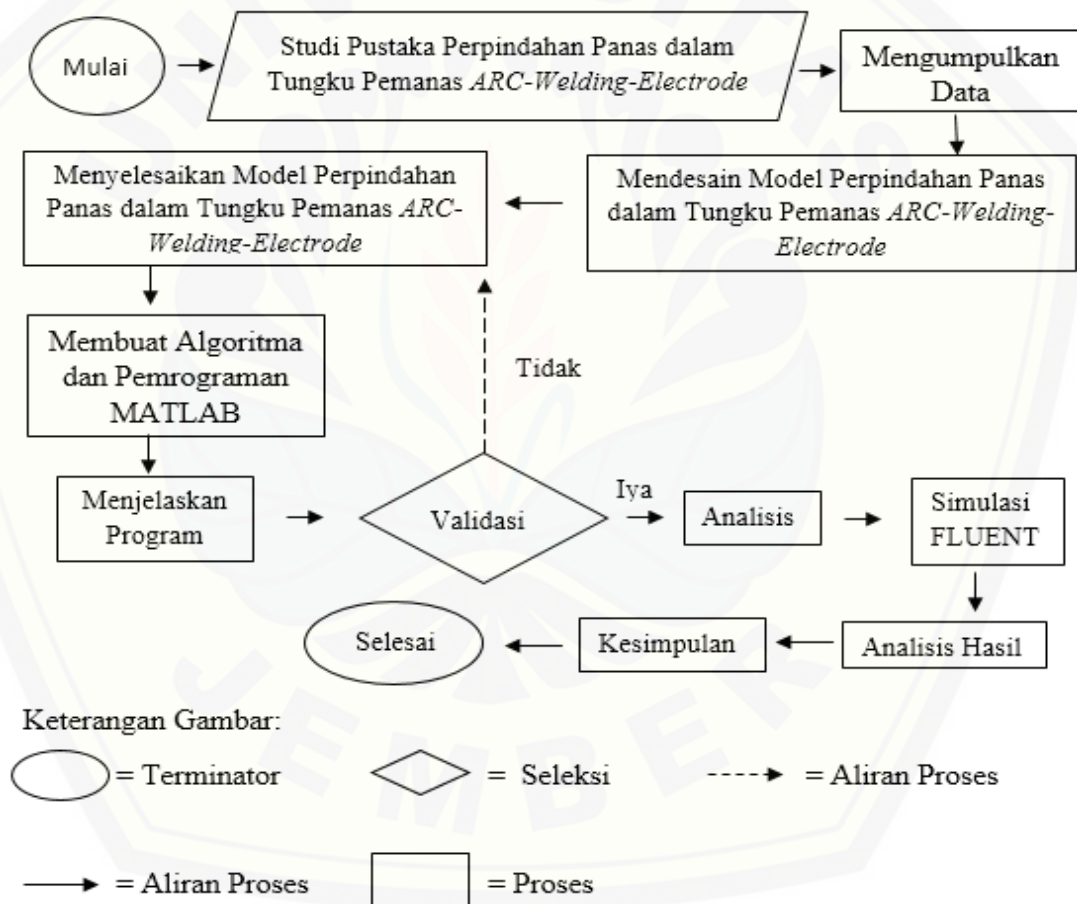
Di dalam penelitian, dibutuhkan suatu prosedur penelitian yang dijadikan suatu dasar langkah-langkah yang dilakukan sampai diperoleh data-data untuk dianalisis sampai menghasilkan suatu kesimpulan. Prosedur penelitian dibagi menjadi dua bagian yaitu rancangan penelitian dan teknik penelitian.

Rancangan penelitian adalah alur kegiatan penelitian dalam memecahkan masalah. Disusun secara matang dan cermat sehingga nantinya akan sangat membantu peneliti maupun orang yang membaca hasil penelitiannya dalam memahami masalah serta cara mengatasinya. Teknik penelitian merupakan langkah-langkah yang dilakukan sampai diperoleh data-data untuk dianalisis sampai menghasilkan suatu kesimpulan sesuai dengan langkah-langkah dalam menyelesaikan pemodelan matematika secara numerik. Adapun teknik penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Melakukan studi pustaka yang berkaitan dengan perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode*.
2. Mengumpulkan data melalui literatur berupa jurnal dan buku-buku yang terkait dengan aliran perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode*.
3. Mengembangkan model matematika dari persamaan momentum dan persamaan energi yang didapat dari hasil pustaka.
4. Menyelesaikan model matematika menggunakan volume hingga.

5. Membuat algoritma dengan MATLAB dari pemodelan perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode*.
6. Menganalisis algoritma dan keadaan perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode*.
7. Simulasi menggunakan FLUENT.
8. Menganalisis hasil dari simulasi dengan FLUENT.
9. Menarik kesimpulan dari hasil simulasi.

Secara umum langkah-langkah penelitian dapat disajikan dalam bagan alur seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Bagan Alur Penelitian

3.3 Definisi Operasional

Untuk menghindari perbedaan pemahaman beberapa istilah yang digunakan dalam penelitian ini, maka disajikan beberapa definisi operasional sebagai berikut:

1. Model matematika adalah usaha perancangan rumusan matematika yang secara potensial menggambarkan bagaimana mendapatkan penyelesaian masalah matematika yang digeneralisasikan untuk diterapkan pada perilaku atau kejadian alam.
2. Perpindahan panas (*heat transfer*) ialah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material.
3. Metode volume hingga adalah suatu metode numerik yang dalam penerapannya membagi objek yang diteliti menjadi *grid*, *face* (permukaan), dan *node* (titik) kemudian memodelkannya menjadi persamaan matematika dengan melihat pada laju perubahan fisis benda.
4. CFD (*Computational Fluid Dynamics*) merupakan sistem analisis yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena terkait seperti reaksi kimia dengan cara simulasi berbasis komputer.
5. MATLAB (*Matrix Laboratory*) yaitu sebuah program (software) aplikasi yang digunakan untuk analisis dan komputasi data numerik. Bahasa pemrograman yang digunakan merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi berbasis matriks. MATLAB yang digunakan dalam penelitian ini adalah MATLAB 7.0.
6. Teknik Diskritisasi QUICK (*Quadratic Upwind Interpolation Confective Kinematics*) merupakan suatu teknik yang dipakai dalam metode volume hingga yang berfungsi untuk mempartisi bagian-bagian objek dengan bantuan sel pusat dan sel vertex.
7. GAMBIT merupakan salah satu *pre-processor* yang didesain untuk membantu membuat model dan melakukan diskritisasi (*meshing*) pada model untuk analisis CFD.
8. FLUENT adalah salah satu jenis program CFD yang menggunakan metode volume hingga. Fluent mnyediakan fleksibilitas *mesh* yang lengkap, sehingga

dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan *mesh (grid)* yang tidak terstruktur sekalipun.

3.4 Tempat Penelitian

Pada penelitian ini, penyelesaian numerik dan pemodelan *Computational Fluid Dynamics* dilakukan di laboratorium Matematika Gedung III FKIP Universitas Jember yang telah tersedia sarana dan prasarana yang mendukung yaitu dengan adanya komputer yang dilengkapi dengan program MATLAB untuk penyelesaian numerik dan FLUENT untuk simulasi pemodelan serta berbagai sumber elektronik lainnya.

3.5 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data adalah cara-cara yang dapat digunakan peneliti untuk mengumpulkan data. Data penelitian dikumpulkan sesuai dengan rancangan penelitian yang telah ditentukan. Data yang dikumpulkan merupakan pernyataan fakta mengenai objek yang diteliti.

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan metode dokumentasi dalam pengumpulan data. Metode dokumentasi yaitu metode pengumpulan data yang berupa hal-hal atau variabel yang terdiri dari catatan, transkrip, buku, surat kabar, majalah, prasasti, notulen rapat, agenda, dan lain sebagainya. Peneliti akan memperoleh data yang diinginkan dengan mempelajari buku, jurnal ilmiah serta berbagai data yang diambil dari catatan pada internet, buku-buku fisika serta buku-buku mengenai pengelasan yang berkaitan dengan elektrode las listrik.

3.6 Data dan Analisis Data

Analisis data merupakan bagian akhir dari suatu penelitian. Data yang dikumpulkan selanjutnya diklasifikasikan dan diorganisasikan secara sistematis serta diolah dan dianalisa secara logis menurut rancangan penelitian yang telah ditetapkan. Menurut Bogdan dan Taylor (1975) analisis data adalah proses yang merinci usaha formal untuk menemukan tema dan merumuskan hipotesis (ide) seperti yang disarankan oleh data dan sebagai usaha untuk memberikan bantuan pada tema dan hipotesis itu. Tujuan dari analisis data adalah (1) memecahkan

masalah-masalah penelitian; (2) memperlihatkan hubungan antara fenomena yang terdapat dalam penelitian; (3) memberikan jawaban terhadap hipotesis yang diajukan dalam penelitian; (4) bahan untuk membuat kesimpulan serta implikasi dan saran-saran yang berguna untuk kebijakan penelitian selanjutnya (Hasan dan Misbahuddin, 2013:29-30).

Model matematika perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode* yang dibentuk dengan metode volume hingga, kemudian didistribusikan dengan teknik QUICK. Dengan metode diskritisasi QUICK didapatkan matriks yang menyatakan persamaan dari setiap kontrol volume. Persamaan ini akan diselesaikan secara numerik yang konvergen. Penyelesaian ini mendekati penyelesaian eksak dari persamaan diferensialnya.

Apabila perhitungan MATLAB terdapat *error* yang kecil antara perhitungan MATLAB dengan nilai sebenarnya, maka hasil yang didapat sudah benar. Akan tetapi, apabila terdapat perbedaan yang signifikan dari hasil perhitungan MATLAB dengan nilai sebenarnya, maka akan dicari kesalahan saat memodelkan dan validasi ulang dari proses penurunan rumus dan juga penyelesaian dengan MATLAB hingga didapat hasil yang benar.

Nilai batasan *error* adalah 0,01. *Error* 0,01 telah dapat menggambarkan akurasi yang baik karena kesalahan tersebut hanya 1 persen sehingga menandakan kesalahan tersebut cukup kecil. Setelah melakukan simulasi model matematika perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode*, maka keakuratan model matematika perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode* dapatlah ditentukan menggunakan *error* relatif. Model matematika perpindahan panas pada tungku pemanas *arc-welding-electrode* disimulasikan dengan FLU-ENT. *Out-put* berupa gambar kontur kecepatan aliran perpindahan panas mulai dari nilai tertinggi ke yang terendah pada tungku pemanas. Dengan demikian dapat dilihat secara jelas bagaimana model matematika perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode*.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Model matematika analisis aliran perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode* seperti pada persamaan awal, merupakan persamaan yang menyatakan persamaan momentum dan persamaan energi, analisis kecepatan aliran panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode*, diselesaikan secara numerik dengan menggunakan diskritisasi QUICK.

$$\begin{aligned}
 & \phi_n \left[-\frac{v\Delta t\Delta t}{\Delta x} - \frac{v\Delta x\Delta t\Delta t}{\Delta y\Delta y} \right] + \phi_s \left[\frac{v\Delta t\Delta t}{\Delta x} + \frac{v\Delta x\Delta t\Delta t}{\Delta y\Delta y} \right] \\
 & + \phi_e \left[-\frac{u\Delta y\Delta t\Delta t}{\Delta x\Delta x} + \frac{u\Delta t\Delta t}{\Delta y} \right] + \phi_w \left[\frac{u\Delta y\Delta t\Delta t}{\Delta x\Delta x} + \frac{u\Delta t\Delta t}{\Delta y} \right] \\
 & = \frac{1}{\left(\mu + \frac{\mu_t}{S_k}\right)} \left[\left(\frac{P}{\rho} + uv - \rho u^2 v + \beta g u \frac{\mu_t}{Pr_t} + hpl(T_1 - T) \right) \Delta x \Delta t + \left(\frac{\mu u}{\rho} \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{\mu u}{\rho} \right) \Delta t \right] + \left(-\frac{P}{\rho} - uv \right) \frac{\Delta t \Delta t}{\Delta x} + \left(\frac{\mu u}{\rho} + \frac{\mu u}{\rho} \right) \frac{\Delta t \Delta t}{\Delta x \Delta x} + \left(\frac{\mu u}{\rho} + \frac{\mu u}{\rho} \right) \\
 & \frac{\Delta t \Delta t}{\Delta x \Delta y} + \left(-\frac{P}{\rho} - uv \right) \frac{\Delta y \Delta t \Delta t}{\Delta x \Delta x} + \left(\frac{\mu u}{\rho} \right) \frac{\Delta y \Delta t \Delta t}{\Delta x \Delta x \Delta x} + \left(-\frac{P}{\rho} - uv \right) \frac{\Delta t \Delta t}{\Delta y \Delta y} \\
 & + \left(\frac{\mu u}{\rho} + \frac{\mu u}{\rho} \right) \frac{\Delta t \Delta t}{\Delta y \Delta y} + \left(\frac{\mu u}{\rho} \right) \frac{\Delta x \Delta t \Delta t}{\Delta y \Delta y \Delta y} + \left(-\frac{P}{\rho} - uv \right) \frac{\Delta t \Delta t}{\Delta y} \quad (5.1)
 \end{aligned}$$

2. Hasil simulasi dengan menggunakan software MATLAB didapatkan bahwa ketika suhu awal berturut-turut 323 K, 353 K dan 383 K kecepatan aliran panas naik dari 0.69172 m/s, 0.9036 m/s, dan 1.1153 m/s hingga mengalami kecepatan konstan pada titik 1.4407 m/s, 1.8832 m/s, dan 2.3228 m/s kemudian mengalami penurunan yang relatif sedikit pada kecepatan 1.4404 m/s, 1.8826 m/s, dan 2.3223 m/s selanjutnya kecepatan aliran panas mengalami kenaikan kembali hingga mencapai kecepatan 1.8808 m/s, 2.3525 m/s, dan

2.9036 m/s.

3. Hasil simulasi dengan menggunakan software MATLAB didapatkan bahwa ketika kecepatan aliran udara berturut-turut 1.5 m/s, 1.75 m/s dan 2 m/s kecepatan aliran panas naik dari 0.85962 m/s, 1.0394 m/s, dan 1.2478 m/s hingga mengalami kecepatan konstan pada titik 1.86 m/s, 2.057 m/s, dan 2.2995 m/s kemudian mengalami penurunan yang relatif sedikit pada kecepatan 1.8595 m/s, 2.0567 m/s, dan 2.2991 m/s selanjutnya kecepatan aliran panas mengalami kenaikan kembali hingga mencapai kecepatan 2.3407 m/s, 2.5471 m/s, dan 2.8061 m/s.
4. Penggunaan metode volume hingga sangat efektif dalam menyelesaikan model aliran perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode* karena nilai error yang didapat dari hasil analisis kecepatan aliran perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode* berdasarkan suhu dan kecepatan aliran udara yaitu 0.0021616192 dan 0.0042931886 yang kurang dari nilai toleransi yang ditentukan yaitu 0,01 sehingga nilai tersebut mendekati nilai sebenarnya.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis aliran perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode*:

1. Penelitian ini dapat digunakan sebagai pedoman untuk melakukan penelitian yang baru.
2. Model analisis aliran perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode* yang telah dibentuk dapat dikembangkan dengan menggunakan model yang lain.
3. Model analisis aliran perpindahan panas dalam tungku pemanas *arc-welding-electrode* dapat diterapkan untuk menentukan optimasi suhu optimal dalam memanaskan electrode di dalam tungku.

DAFTAR PUSTAKA

- Arhami, Muhammad dan Anita Desiani. 2005. *Pemrograman MATLAB*. Yogyakarta: Andi.
- Fatahillah, Dafik, EE Riastutik, Susanto. 2014. *The Analysis of Air Circulation on Coffee Plantation Based on the Level of Plants Roughness and Diamond Ladder Graph Cropping Pattern Using Finite Volume Method*. Jember: University of Jember
- Fatahillah, A. 2014. *Jurnal KadikmA: Analisis Numerik Profil Sedimentasi Pasir pada Pertemuan Dua Sungai Berbantuan Software Fluent*.
- Fatahillah, Dafik, Susanto. 2014. *Jurnal KadikmA: Analisis Kecepatan Aliran Udara pada Gedung Bertingkat Karena Pengaruh Penghalang Didepannya*.
- Holman, J.P. 1993. *Perpindahan Kalor Edisi Keenam*. Jakarta: Erlangga.
- Iswanto, Ripno Juli. 2012. *Pemodelan Matematika Aplikasi dan Terapannya*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Junaidi, Ahmad dan Dicky Seprianto. 2011. *Pengaruh Temperatur Sinter terhadap Kekerasan Elektroda Tembaga-5% Karbon yang Dibuat dengan Metode serbuk Metalurgi*.
- Kemala, Myrna Indah. 2014. *Monograph*. [Online]. <http://www.kemalapublisher.com>. [21 Agustus 2016]
- Kenyon, W. 1985. *Dasar-dasar Pengelasan*. Jakarta Pusat: Erlangga.

- Koestoer, Raldi Artono. 2002. *Perpindahan Kalor: Untuk Mahasiswa Teknik*. Jakarta: Salemba.
- Olson, Reuben M. dan Steven J. Wright. 1993. *Dasar-Dasar Mekanika Fluida Teknik Edisi Kelima*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Pitts, Donald R. dan Leighton E. Sisson. 1987. *Perpindahan Kalor*. Jakarta: Erlangga.
- Pujiyanta, Andi. 2007. *Komputasi Numerik dengan MATLAB*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Rad, Saeed Defaee dan Ali Ashrafizadeh. 2012. *An Approach for the Numerical Simulation of Heat Transfer in an Arc-Welding Electrode Curing Furnace*. IDOSI, ISSN 1818-4952, hal: 707-714
- Sahid. 2005. *Pengantar Komputasi Numerik dengan MATLAB*. Yogyakarta: Andi.
- Streeter, Victor L. dan Benjamin Wylic. 1985. *Mekanika Fluida Edisi Delapan Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Tarkono, et al. 2012. *Studi Penggunaan Jenis Elektroda Las yang Berbeda Terhadap Sifat Mekanik Pengelasan SMAW Baja AISI 1045*.
- Tuakia, Firman. 2008. *Dasar-Dasar CFD Menggunakan FLUENT*. Bandung: Informatika.
- Wahid, Fathul. 2004. *Dasar-Dasar Algoritma dan Pemrograman*. Yogyakarta: Andi.

Welty, James R, et al. 2004. *Dasar-Dasar Fenomena Transport Edisi Keempat Volume I Transfer Momentum*. Jakarta: Erlangga

White, Frank M. 1986. *Mekanika Fluida*. Jakarta: Erlangga.

Yusup, Muhammad. 2013. *Jurnal Pendekatan Model Matematik Dalam Pembelajaran Fisika*. [Online]. <http://eprintsunri.ac.id>. [21 Agustus 2016].



MATRIKS PENELITIAN

JUDUL	PERMASALAHAN	VARIABEL	INDIKATOR	SUMDER DATA	METODE PENELITIAN
<p>Analisis Numerik Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas <i>Arc-Welding-Electrode</i> dengan Menggunakan Metode Volume Hingga sebagai Monograf</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bagaimana model matematika pada perpindahan panas dalam tungku pemanas <i>arc-welding-electrode</i> dengan menggunakan metode volume hingga? 2. Bagaimana kecepatan aliran perpindahan panas dalam tungku pemanas <i>arc-welding-electrode</i> berdasarkan suhu? 3. Bagaimana kecepatan aliran perpindahan panas dalam tungku pemanas <i>arc-welding-electrode</i> berdasarkan kecepatan aliran udara? 4. Bagaimana efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis perpindahan panas dalam tungku pemanas <i>arc-welding-electrode</i>? 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kecepatan Aliran Panas 2. Tungku Pemanas <i>Arc-Welding-Electrode</i> 3. Metode Volume Hingga 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menentukan model matematika pada perpindahan panas dalam tungku pemanas <i>arc-welding-electrode</i> dengan menggunakan metode volume hingga. 2. Untuk mengetahui kecepatan aliran perpindahan panas dalam tungku pemanas <i>arc-welding-electrode</i> berdasarkan suhu. 3. Untuk mengetahui kecepatan aliran perpindahan panas dalam tungku pemanas <i>arc-welding-electrode</i> berdasarkan suhu. 4. Untuk mengetahui efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis perpindahan panas dalam tungku pemanas <i>arc-welding-electrode</i>. 	<p>Kepustakaan</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Murni

LAMPIRAN A. FORMAT PROGRAMMING MATLAB***A.1 Format Programming Analisis Aliran Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas Arc-Welding-Electrode Menggunakan Metode Gauss-Seidel***

```

clear all;
clc;
disp('=====');
disp('    SIMULASI ALIRAN PANAS DALAM TUNGKU PEMANAS    ');
disp('    ARC-WELDING-ELECTRODE BERDASARKAN TEMPERATUR    ');
disp('                    Oleh:                    ');
disp('            NURUL FIKA ROMADHONI    (130210101068)    ');
disp('=====');
%TAHAP INPUT
%m=input('masukkan diskritisasi pada sumbu X= ');
%n=input('masukkan diskritisasi pada sumbu Y= ');
m=50;
n=1;
w=10;
tol=0.01;
N=100;
suhumin=323;      %suhu awal minimal yang masuk satuannya K
suhumax=383;      %suhu awal maksimal yang masuk satuannya K
ds=(suhumax-suhumin)/2;
xall_plot=[];
%tol=input('masukkan toleransi error= ');
%N=input('masukkan batas maksimum iterasi= ');
%for i=1:m
%    for s=1:1
%X0(i,s)=input(['tebakan awal X(',num2str(i),':',num2str(s),')=']);
%    end
%end

```



```

X0=zeros(m,1);
X0(1:1:m)=1;

    %TAHAP INISIALISASI
miu=0.6;                %kekentalan fluida satuannya Kg/ms
v=1.5;                  %kecepatan udara satuannya m/s
u=0.7;                  %kecepatan udara satuannya m/s
panjang=0.7;           %panjang elektrode satuannya m
l=0.4;                  %lebar elektrode satuannya m
h=0.1;                  %koefisien konveksi w/m^2K
Sk=10;                  %standar k
miut=0.6;               %koefisien viskousitas turbulen
Prt=10;                 %nomor Prandtl turbulen
rho=1.021;              %massa jenis satuannya Kg/m^2
g=9.8;                  %gaya gravitasi satuannya m/s^2
P=20;                   %tekanan satuannya Pa
beta=0.1;               %tingkat pori-pori udara
T1=383;                 %suhuakhir satuannya K
deltt=1;
deltx=1.05;
delty=1.05;
Xall_plot=[];
for T=suhumin:ds:suhumax;% suhu awal yang masuk satuannya K
    X_all=[];

    % TAHAP PENDEFINISIAN MATRIKS
A=(((1/8)*u)*((deltt*deltt*delty)/(deltx*deltx))
+((-1/8)*u)*((deltt*deltt)/delty)); % (i-2,j)
B=(((7/8)*u)*((deltt*deltt*delty)/(deltx*deltx))
+((7/8)*u)*((deltt*deltt)/delty)); % (i-1,j)
C=(((3/8)*u)*((deltt*deltt*delty)/(deltx*deltx))

```

```

+((-3/8)*u)*((deltt*deltt)/delty)+((-3/8)*v)*((deltx
*deltt*deltt)/delty*delty)+((-3/8)*v)*((deltt*deltt*delty)
/(deltx*deltx));    %(i,j)
D=((-3/8)*u)*((deltt*deltt*delty)/(deltx*deltx))
+((-3/8)*u)*((deltt*deltt)/delty));    %(i+1,j)
E=((-1/8)*v)*((deltt*deltt)/deltx)+((-1/8)*v)
*((deltt*deltt*deltx)/(delty*delty));    %(i,j-2)
F=(((7/8)*v)*((deltt*deltt)/deltx)+((7/8)*v)
*((deltt*deltt*deltx)/(delty*delty));    %(i,j-1)
G=((-3/8)*v)*((deltt*deltt)/deltx)+((-3/8)*v)
*((deltt*deltt*delty)/(deltx*deltx));    %(i,j+1)
H=((1/(miu+(miut/Sk)))*((P/rho)+(u*v)-(rho*u^2*v)+(beta*g*u
*(miut/Prt))+(h*panjang*l*(T1-T)))*(deltt*deltx)+(((miu*u)
/rho)+((miu*v)/rho))*deltt)+((P/rho)+(u*v)-(rho*u*v^2)+(beta*
g*u*(miut/Prt))+(h*panjang*l*(T1-T)))*(deltt*delty)-((u*v)/rho)
*((deltt*deltx)/delty)+((u*v)/rho)*((deltt*delty)/deltx))
+(((P/rho)-(u*v))*((deltt*deltt)/deltx))+((miu*u)/rho)
+((miu*v)/rho))*((deltt*deltt)/(deltx*deltx))+((miu*v)/rho)
*((deltt*deltt)/(deltx*delty))+(((P/rho)-(u*v))*((delty*deltt
*deltt)/(deltx*deltx))+((miu*u)/rho)*((delty*deltt*deltt)
/(deltx*deltx*deltx))+(((P/rho)-(u*v))*((deltx*deltt*deltt)
/(delty*delty))+((miu*u)/rho)*((deltt*deltt)/(delty*delty))
+((miu*v)/rho)*((deltx*deltt*deltt)/(delty*delty*delty))
+(((P/rho)-(u*v))*((deltt*deltt)/delty))

% MATRIKS K
m=diskritisasi terhadap sumbu x;
n=diskritisasi terhadap sumbu y;
K=zeros(m*n:m*n);
K(3:m*n+1:(m*n)^2-2*(m*n))=A;
K(m*n*(m-2)+m+1:m*(m*n+1):m*n*(m*n-2))=0;

```

```

K(m*n*(m-1)+m+2:m*(m*n+1):m*n*(m*n-2))=0;
K(2:m*n+1:m*n*(m*n-1))=B;
K(m*n*(m-1)+m+1:m*(m*n+1):m*n*(m*n-1))=0;
K(1:m*n+1:m^2*n^2)=C;
K(m*n+1:m*n+1:m^2*n^2-1)=D;
K(m^2*n+m:m*(m*n+1):m*n*(m*n-1))=0;
K(m^2+1:m*n+1:m^2*n*(n-2))=E;
K(m+1:m*n+1:m^2*n*(n-1))=F;
K(m^2*n+1:m*n+1:m^2*n^2-m)=G;
L(1:(m*n),1)=H;
    %PENGERJAAN MATRIKS
    R=X0;
    w=length(L);
    X1=X0;
    for s=1:N
        for i=1:w
            Q=L(i)-K(i,1:i-1)*X1(1:i-1)-K(i,i+1:w)*X0(i+1:w);
            X1(i)=Q/K(i,i);
        end
        g=abs(X1-X0);
        error=norm(g);
        reller=error/(norm(X1)+eps);
        X0=X1;
        R=[R,X0];
        if(error<tol)|(reller<tol)
            break
        end
    end
    disp(['besarnya error= ',num2str(error)]);
    disp(['besarnya relatif error= ',num2str(reller)]);
    R; \verb X1;"

```

```
X_all=[X_all X1];
Xall_plot=[Xall_plot X_all(:,end)];
end
%PLOT GRAFIK
plot(1:m*n,Xall_plot(:,:),1:m*n,Xall_plot(:,:),'rd',
'MarkerEdgeColor','K','MarkerFaceColor','r');
xlabel('panjang domain')
ylabel('aliran panas')
title('SIMULASI ALIRAN PANAS DALAM TUNGKU PEMANAS
\emph{ARC-WELDING-ELECTRODE} BERDASARKAN TEMPERATUR')
legend(strcat('suhu=',num2str((suhumin:ds:suhumax)'),'K'));
grid on;
hold on;
disp('Gauss-Seidel method converged');
```

A.2 Format Programming Analisis Aliran Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas Arc-Welding-Electrode Menggunakan Metode Gauss-Seidel

```

clear all;
clc;
disp('=====');
disp('    SIMULASI ALIRAN PANAS DALAM TUNGKU PEMANAS    ');
disp('    ARC-WELDING-ELECTRODE BERDASARKAN KECEPATAN    ');
disp('                    Oleh:                            ');
disp('            NURUL FIKA ROMADHONI    (130210101068)    ');
disp('=====');
%TAHAP INPUT
%m=input('masukkan diskritisasi pada sumbu X= ');
%n=input('masukkan diskritisasi pada sumbu Y= ');
m=50;
n=1;
w=10;
tol=0.01;
N=100;
vmin=1.5;    %kecepatan udara minimal yang masuk satuannya m/s
vmax=2;    %kecepatan udara maksimal yang masuk satuannya m/s
dv=(vmax-vmin)/2;    %rata-rata kecepatan udara
xall_plot=[];
%tol=input('masukkan toleransi error= ');
%N=input('masukkan batas maksimum iterasi= ');
%for i=1:m
%    for s=1:1
%X0(i,s)=input(['tebakan awal X(',num2str(i),':',num2str(s),')=']);
%    end
%end
X0=zeros(m,1);

```

```
X0(1:1:m)=1;
```

```
%TAHAP INISIALISASI
```

```
miu=0.6;           %kekentalan fluida satuannya Kg/ms
u=0.7;            %kecepatan udara satuannya m/s
panjang=0.7;     %panjang elektrode satuannya m
l=0.4;           %lebar elektrode satuannya m
h=0.1;           %koefisien konveksi w/m^2K
Sk=10;           %standar k
miut=0.6;        %koefisien viskousitas turbulen
Prt=10;          %nomor Prandtl turbulen
rho=1.021;       %massa jenis satuannya Kg/m^2
g=9.8;           %gaya gravitasi satuannya m/s^2
P=20;            %tekanan satuannya Pa
beta=0.1;        %tingkat pori-pori udara
T=323;           %suhuawal satuannya K
T1=383;          %suhuakhir satuannya K
deltt=1;
deltx=1.05;
delty=1.05;
Xall_plot=[];
for v=vmin:dv:vmax; %kecepatan satuannya m/s
    X_all=[];
```

```
% TAHAP PENDEFINISIAN MATRIKS
```

```
A=(((−1/8)*u)*((deltt*deltt*delty)/(deltx*deltx))
+((−1/8)*u)*((deltt*deltt)/delty)); % (i-2,j)
B=(((7/8)*u)*((deltt*deltt*delty)/(deltx*deltx))
+((7/8)*u)*((deltt*deltt)/delty)); % (i-1,j)
C=(((−3/8)*u)*((deltt*deltt*delty)/(deltx*deltx))
+((−3/8)*u)*((deltt*deltt)/delty)+((−3/8)*v)*((deltx
```

```

*deltt*deltt)/delty*delty)+((-3/8)*v)*((deltt*deltt*delty)
/(deltx*deltx));    %(i,j)
D=((( -3/8)*u)*((deltt*deltt*delty)/(deltx*deltx))
+((-3/8)*u)*((deltt*deltt)/delty));    %(i+1,j)
E=((( -1/8)*v)*((deltt*deltt)/deltx)+((-1/8)*v)
*((deltt*deltt*deltx)/(delty*delty));    %(i,j-2)
F=(((7/8)*v)*((deltt*deltt)/deltx)+((7/8)*v)
*((deltt*deltt*deltx)/(delty*delty));    %(i,j-1)
G=((( -3/8)*v)*((deltt*deltt)/deltx)+((-3/8)*v)
*((deltt*deltt*delty)/(deltx*deltx));    %(i,j+1)
H=((1/(miu+(miut/Sk)))*((P/rho)+(u*v)-(rho*u^2*v)+(beta*g*u
*(miut/Prt))+(h*panjang*l*(T1-T)))*(deltt*deltx)+(((miu*u)
/rho)+((miu*v)/rho))*deltt)+((P/rho)+(u*v)-(rho*u*v^2)+(beta*
g*u*(miut/Prt))+(h*panjang*l*(T1-T)))*(deltt*delty)-((u*v)/rho)
*((deltt*deltx)/delty)+((u*v)/rho)*((deltt*delty)/deltx))
+((( -P/rho)-(u*v))*((deltt*deltt)/deltx))+((miu*u)/rho)
+((miu*v)/rho))*((deltt*deltt)/(deltx*deltx))+((miu*v)/rho)
*((deltt*deltt)/(deltx*delty))+((( -P/rho)-(u*v))*((delty*deltt
*deltt)/(deltx*deltx))+((miu*u)/rho)*((delty*deltt*deltt)
/(deltx*deltx*deltx))+((( -P/rho)-(u*v))*((deltx*deltt*deltt)
/(delty*delty))+((miu*u)/rho)*((deltt*deltt)/(delty*delty))
+((miu*v)/rho)*((deltx*deltt*deltt)/(delty*delty*delty))
+((( -P/rho)-(u*v))*((deltt*deltt)/delty))

    % MATRIKS K
m=diskritisasi terhadap sumbu x;
n=diskritisasi terhadap sumbu y;
K=zeros(m*n:m*n);
K(3:m*n+1:(m*n)^2-2*(m*n))=A;
K(m*n*(m-2)+m+1:m*(m*n+1):m*n*(m*n-2))=0;
K(m*n*(m-1)+m+2:m*(m*n+1):m*n*(m*n-2))=0;

```

```

K(2:m*n+1:m*n*(m*n-1))=B;
K(m*n*(m-1)+m+1:m*(m*n+1):m*n*(m*n-1))=0;
K(1:m*n+1:m^2*n^2)=C;
K(m*n+1:m*n+1:m^2*n^2-1)=D;
K(m^2*n+m:m*(m*n+1):m*n*(m*n-1))=0;
K(m*2+1:m*n+1:m^2*n*(n-2))=E;
K(m+1:m*n+1:m^2*n*(n-1))=F;
K(m^2*n+1:m*n+1:m^2*n^2-m)=G;
L(1:(m*n),1)=H;

    %PENGGERJAAN MATRIKS
    R=X0;
    w=length(L);
    X1=X0;
    for s=1:N
        for i=1:w
            Q=L(i)-K(i,1:i-1)*X1(1:i-1)-K(i,i+1:w)*X0(i+1:w);
            X1(i)=Q/K(i,i);
        end
        g=abs(X1-X0);
        error=norm(g);
        reller=error/(norm(X1)+eps);
        X0=X1;
        R=[R,X0];
        if(error<tol)|(reller<tol)
            break
        end
    end
    end
    disp(['besarnya error= ',num2str(error)]);
    disp(['besarnya relatif error= ',num2str(reller)]);
    R; \verb X1;
    X_all=[X_all X1];

```



```
Xall_plot=[Xall_plot X_all(:,end)];  
end  
%PLOT GRAFIK  
plot(1:m*n,Xall_plot(:,:),1:m*n,Xall_plot(:,:),'rd',  
'MarkerEdgeColor','K','MarkerFaceColor','r');  
xlabel('panjang domain')  
ylabel('aliran panas')  
title('SIMULASI ALIRAN PANAS DALAM TUNGKU PEMANAS  
\emph{ARC-WELDING-ELECTRODE} BERDASARKAN TEMPERATUR')  
legend(strcat('kecepatan= ',num2str((vmin:dv:vmax)'),'m/s'));  
grid on;  
hold on;  
disp('Gauss-Seidel method converged');
```

LAMPIRAN B. HASIL SIMULASI DENGAN METODE GAUSS-SEIDEL

B.1 Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Perpindahan Panas dengan Temperatur 323 K, 353 K, dan 383 K

Tabel Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Perpindahan Panas dengan Temperatur 323 K, 353 K, dan 383 K

Titik ke-	323 K (m/s)	353 K (m/s)	383 K (m/s)
1	0.6917	0.9036	1.1153
2	1.1090	1.4487	1.7881
3	1.3031	1.7023	2.1010
4	1.3854	1.8100	2.2338
5	1.4189	1.8539	2.2878
6	1.4323	1.8714	2.3093
7	1.4375	1.8784	2.3177
8	1.4396	1.8811	2.3210
9	1.4403	1.8823	2.3222
10	1.4406	1.8827	2.3227
11	1.4407	1.8829	2.3228
12	1.4408	1.8830	2.3229
13	1.4407	1.8831	2.3229
14	1.4407	1.8831	2.3229
15	1.4407	1.8831	2.3228
16	1.4407	1.8831	2.3228
17	1.4407	1.8831	2.3228
18	1.4407	1.8831	2.3228
19	1.4407	1.8832	2.3228
20	1.4407	1.8832	2.3228
21	1.4407	1.8832	2.3228
22	1.4407	1.8832	2.3228
23	1.4407	1.8832	2.3228
24	1.4407	1.8832	2.3228

<i>Titik ke-</i>	<i>323 K (m/s)</i>	<i>353 K (m/s)</i>	<i>383 K (m/s)</i>
25	1.4407	1.8832	2.3228
26	1.4407	1.8832	2.3228
27	1.4407	1.8832	2.3228
28	1.4407	1.8832	2.3228
29	1.4407	1.8832	2.3228
30	1.4407	1.8832	2.3228
31	1.4407	1.8832	2.3228
32	1.4407	1.8832	2.3228
33	1.4407	1.8832	2.3228
34	1.4407	1.8832	2.3228
35	1.4407	1.8832	2.3228
36	1.4407	1.8832	2.3228
37	1.4407	1.8832	2.3228
38	1.4407	1.8832	2.3228
39	1.4407	1.8832	2.3228
40	1.4407	1.8832	2.3228
41	1.4407	1.8832	2.3228
42	1.4407	1.8832	2.3228
43	1.4407	1.8831	2.3228
44	1.4408	1.8832	2.3230
45	1.4404	1.8826	2.3223
46	1.4422	1.8849	2.3252
47	1.4352	1.8757	2.3140
48	1.4633	1.9122	2.3593
49	1.3512	1.7655	2.1785
50	1.8008	2.3525	2.9036

B.2 Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Perpindahan Panas dengan Kecepatan Udara 1.5 m/s, 1.75 m/s, dan 2 m/s

Tabel Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Perpindahan Panas dengan Kecepatan Udara 1.5 m/s, 1.75 m/s, dan 2 m/s

<i>Titik ke-</i>	<i>1.5 m/s (m/s)</i>	<i>1.75 m/s (m/s)</i>	<i>2 m/s (m/s)</i>
1	0.85962	1.0394	1.2478
2	1.3961	1.6361	1.9102
3	1.6569	1.8962	2.1701
4	1.7736	1.9982	2.2594
5	1.8239	2.0361	2.2877
6	1.8453	2.0497	2.2961
7	1.8543	2.0545	2.2986
8	1.8580	2.0562	2.2992
9	1.8596	2.0568	2.2994
10	1.8602	2.057	2.2994
11	1.8604	2.057	2.2995
12	1.8605	2.057	2.2995
13	1.8605	2.057	2.2995
14	1.8604	2.057	2.2995
15	1.8604	2.057	2.2995
16	1.8604	2.057	2.2995
17	1.8603	2.057	2.2995
18	1.8603	2.057	2.2995
19	1.8602	2.057	2.2995
20	1.8602	2.057	2.2995
21	1.8602	2.057	2.2995
22	1.8601	2.057	2.2995
23	1.8601	2.057	2.2995
24	1.8601	2.057	2.2995

<i>Titik ke-</i>	<i>1.5 m/s (m/s)</i>	<i>1.75 m/s (m/s)</i>	<i>2 m/s (m/s)</i>
25	1.8601	2.057	2.2995
26	1.8601	2.057	2.2995
27	1.8601	2.057	2.2995
28	1.86	2.057	2.2995
29	1.86	2.057	2.2995
30	1.86	2.057	2.2995
31	1.86	2.057	2.2995
32	1.86	2.057	2.2995
33	1.86	2.057	2.2995
34	1.86	2.057	2.2995
35	1.86	2.057	2.2995
36	1.86	2.057	2.2995
37	1.86	2.057	2.2995
38	1.86	2.057	2.2995
39	1.86	2.057	2.2995
40	1.86	2.057	2.2995
41	1.86	2.057	2.2995
42	1.86	2.057	2.2995
43	1.86	2.057	2.2994
44	1.8602	2.0572	2.2995
45	1.8595	2.0567	2.2991
46	1.8623	2.0587	2.3006
47	1.852	2.0506	2.2938
48	1.8923	2.085	2.3239
49	1.7366	1.9409	2.1873
50	2.3407	2.5471	2.8061

LAMPIRAN C. HASIL PERHITUNGAN NILAI ERROR RELATIF**C.1 Hasil Perhitungan Nilai Error Relatif Kecepatan Aliran Perpindahan Panas dengan Temperatur 323 K, 353 K, dan 383 K**

$$\text{error relatif} = \left| \frac{X_0 - X_i}{X_i} \right| = \left| \frac{2.285 - 2.28995}{2.28995} \right| = 0.0021616192$$

dengan

X_0 = tebakan awal

X_i = nilai numerik

C.2 Hasil Perhitungan Nilai Error Relatif Kecepatan Aliran Perpindahan Panas dengan Kecepatan 1.5 m/s, 1.75 m/s, dan 2 m/s

$$\text{error relatif} = \left| \frac{X_0 - X_i}{X_i} \right| = \left| \frac{2.285 - 2.275232}{2.275232} \right| = 0.0042931886$$

dengan

X_0 = tebakan awal

X_i = nilai numerik

LAMPIRAN D. MONOGRAF PEMODELAN MATEMATIKA





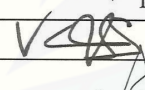


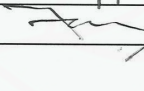
LEMBAR REVISI SKRIPSI

NAMA MAHASISWA : Nurul Fika Romadhoni
 NIM : 130210101068
 JUDUL SKRIPSI : Analisis Numerik Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas *Arc-Welding-Electrode* dengan Menggunakan Metode Volume Hingga sebagai Monograf
 TANGGAL UJIAN : 21 Maret 2017
 PEMBIMBING : Prof. Drs. Dafik, M.Sc. Ph.D.
 Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.

MATERI PEMBETULAN / PERBAIKAN

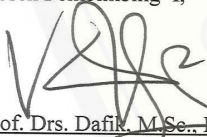
No.	HALAMAN	HAL-HAL YANG HARUS DIPERBAIKI
1.	iv	Penambahan motto islami
2.	17	Penambahan keterangan tungku pemanas yang digunakan dalam penelitian
3.	33	Penambahan syarat monograf
4.	36	Perbaikan pengertian perpindahan panas
5.	36	Penambahan seri MATLAB yang digunakan dalam penelitian
6.	65, 66, 67, 68	Perbaikan hasil simulasi menggunakan FLUENT
7.	73, 74	Penambahan hasil kesimpulan yang diperoleh

PERSETUJUAN TIM PENGUJI

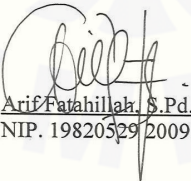
JABATAN	NAMA TIM PENGUJI	TTD dan Tanggal
Ketua	Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D.	 7/4/17
Sekretaris	Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.	 7/4/17
Anggota	Susi Setiawani, S.Si., M.Sc.	 6/4/2017
	Drs. Toto' Bara Setiawan, M. Si	 6/4/2017

Jember, 04 April 2017
 Mengetahui / menyetujui :


Dosen Pembimbing I,


Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D.
 NIP. 19630616 198802 1 001

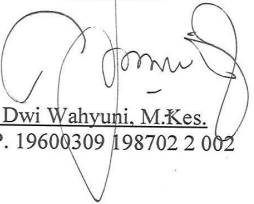
Dosen Pembimbing II,


Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.
 NIP. 19820529 200912 1 003

Mahasiswa Yang Bersangkutan


Nurul Fika Romadhoni
 NIM. 130210101068

Mengetahui,
 Ketua Jurusan P.MIPA


Dr. Dwi Wahyuni, M.Kes.
 NIP. 19600309 198702 2 002