



ANALISIS MODEL MATEMATIKA PERPINDAHAN PANAS
DALAM *BOILER* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP
MENGUNAKAN METODE VOLUME HINGGA
UNTUK MENGASAH *TECHNOLOGICAL
CONTENT KNOWLEDGE*

SKRIPSI

Oleh

Rismawatus Syahroh

NIM 150210101008

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

2019



**ANALISIS MODEL MATEMATIKA PERPINDAHAN PANAS
DALAM *BOILER* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP
MENGUNAKAN METODE VOLUME HINGGA
UNTUK MENGASAH *TECHNOLOGICAL
CONTENT KNOWLEDGE***

SKRIPSI

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

Oleh

Rismawatus Syahroh

NIM 150210101008

Dosen Pembimbing 1 : Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.

Dosen Pembimbing 2 : Drs. Toto Bara Setiawan, M.Si.

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

Dosen Penguji 2 : Susi Setiawani, S.Si., M.Sc.

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

2019

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadirat Allah S.W.T., Tuhan yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi besar, Nabi Muhammad S.A.W., kupersembahkan sebuah kebahagiaan dalam perjalanan dan perjuangan hidupku teriring rasa terima kasihku yang terdalam kepada:

1. Bapak Ahmad Ridhowi dan Ibu Rahmatul Hasanah, yang tidak pernah putus mendoakan dan mengalirkan rasa cinta dan kasih sayang serta adikku Muhammad Rizal Firdaus dan Muhammad Qurli Ababil yang senantiasa memberi semangat;
2. Bapak Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si. dan Bapak Drs. Toto Bara Setiawan, M.Si. selaku pembimbing skripsi yang dengan sabar telah memberikan ilmu dan bimbingan selama menyelesaikan skripsi ini;
3. Para guru dan dosen, yang telah memberikan ilmu dan membimbing dalam banyak hal;
4. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
5. Teman-teman terdekatku Nirmala Wulan Suci, Itriyatut Diana Kamilia, Datul Noviana, Ambarwati, Risnul Lailatul Ikram, Putri Lailani, Hajar Istiqomah, Elies Dwi Rahmaniah Fajri, dan Indri Aprilianti yang selalu memberikan semangat;
6. Teman-teman seperjuangan Pemodelan Debby Ayunda Ashari, Sunnatun Nahriyati, Iqbal Amirullah, dan Muhammad Ali Masyhudi;
7. Teman-teman "LOGARITMA 2015" Pendidikan Matematika FKIP Universitas Jember Angkatan 2015;
8. Semua pihak yang telah memberikan semangat dan doa yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

HALAMAN MOTTO

وَلَا تَيْئَسُوا مِنْ رَوْحِ اللَّهِ إِنَّهُ لَا يَيْئَسُ مِنْ
رَوْحِ اللَّهِ إِلَّا الْقَوْمُ الْكَافِرُونَ

"...Dan janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah. Sesungguhnya tiada berputus asa dari rahmat Allah melainkan kaum yang kafir"
(Q.S. Yusuf:87)

"Bekerja keras dan bersikap baiklah. Hal luar biasa akan terjadi"
- Conan O'Brien -

"Mulailah dari tempatmu berada. Gunakanlah yang kau punya.
Lakukan yang kau bisa"
- Arthur Ashe -

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rismawatus Syahroh

NIM : 150210101008

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul "*Analisis Model Matematika Perpindahan Panas Dalam Boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap Menggunakan Metode Volume Hingga Untuk Mengasah Technological Content Knowledge*" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, 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, 23 Juli 2019

Yang menyatakan,

Rismawatus Syahroh

NIM. 150210101008

HALAMAN PENGAJUAN

ANALISIS MODEL MATEMATIKA PERPINDAHAN PANAS
DALAM *BOILER* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP
MENGUNAKAN METODE VOLUME HINGGA
UNTUK MENGASAH *TECHNOLOGICAL
CONTENT KNOWLEDGE*

diajukan untuk dipertahankan di depan Tim Penguji sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dengan Program Studi Pendidikan Matematika pada Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Oleh:

Nama : Rismawatus Syahroh
NIM : 150210101008
Tempat, tanggal Lahir : Jember, 15 Juli 1997
Jurusan / Program Studi : Pendidikan MIPA / Pendidikan Matematika

Disetujui oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,

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

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

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi berjudul : Analisis Model Matematika Perpindahan Panas Dalam *Boiler* Pembangkit Listrik Tenaga Uap Menggunakan Metode Volume Hingga Untuk Mengasah *Technological Content Knowledge* telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan pada:

Hari : Selasa

Tanggal : 23 Juli 2019

Tempat : Gedung 3 FKIP UNEJ

Tim Penguji :

Ketua,

Sekretaris,

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

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

Anggota I,

Anggota II,

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

Susi Setiawani, S.Si., M.Sc.
NIP. 19700307 199512 2 001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan
Universitas Jember

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

RINGKASAN

Analisis Model Matematika Perpindahan Panas Dalam *Boiler* Pembangkit Listrik Tenaga Uap Menggunakan Metode Volume Hingga Untuk Mengasah *Technological Content Knowledge*; Rismawatus Syahroh, 150210101008; 2019: 71 halaman; Program Studi Pendidikan Matematika, Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

Teknologi dalam bidang industri terus berkembang, salah satunya yaitu adanya alat untuk menghasilkan uap air yang disebut dengan ketel uap (*boiler*). Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap, *boiler* menghasilkan panas dari pembakaran batubara yang digunakan untuk mengubah air di dalam pipa menjadi uap. Uap akan digunakan sebagai penggerak turbin dan memutar generator untuk pembangkitan listrik. Di dalam *boiler* terjadi proses perpindahan panas secara konveksi, konduksi, dan radiasi. Pada ruang bakar di dalam *boiler* terjadi perpindahan panas secara radiasi. Proses pembakaran sangat berpengaruh dalam efisiensi panas yang dihasilkan oleh kinerja ruang pembakaran (*furnace*) *boiler*.

Dari latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian yang memiliki tujuan untuk mengetahui model matematika perpindahan panas dalam *boiler* PLTU, menyelesaikan model menggunakan metode volume hingga, menganalisis pengaruh kecepatan dan temperatur awal terhadap temperatur aliran udara dalam *boiler*, menganalisis pola temperatur aliran udara pada ruang pembakaran dalam *boiler* dan untuk mengetahui efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis masalah perpindahan panas dalam *boiler* PLTU.

Tahapan kegiatan penelitian meliputi: pertama, menentukan model matematika perpindahan panas dalam *boiler* PLTU. Tahapan ini meliputi studi pustaka tentang perpindahan panas dalam *boiler* PLTU kemudian membuat model matematika persamaan energi dan persamaan momentum. Model yang terbentuk didiskritisasi QUICK sehingga diperoleh matriks global. Setelah mendapatkan matriks global langkah selanjutnya adalah melakukan komputasi dengan MATLAB. Selanjutnya melakukan simulasi dengan FLUENT, kemudian melakukan validasi untuk mengasah kemampuan TCK peneliti.

Adapun hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Model matematika perpindahan panas dalam *boiler* Pembangkit Listrik

Tenaga Uap merupakan persamaan yang dinyatakan pada persamaan energi dan persamaan momentum yang diselesaikan menggunakan metode volume hingga dengan teknik diskritisasi QUICK. Berikut ini adalah persamaannya.

$$\begin{aligned}
 & \phi_e \left[\rho u \Delta y \Delta t \left(1 - \frac{\rho \Delta x \Delta y}{\rho \Delta x \Delta y + \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} \right) \right] + \\
 & \phi_w \left[\rho u \Delta y \Delta t \left(\frac{\rho \Delta x \Delta y}{\rho \Delta x \Delta y + \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} - 1 \right) \right] + \\
 & \phi_n \left[\rho v \Delta x \Delta t \left(1 - \frac{\rho \Delta x \Delta y}{\rho \Delta x \Delta y + \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} \right) \right] + \\
 & \phi_s \left[\rho v \Delta x \Delta t \left(\frac{\rho \Delta x \Delta y}{\rho \Delta x \Delta y + \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} - 1 \right) \right] = \\
 & \mu_{eff} \Delta t \left(\frac{u \Delta y}{\Delta x} + v + u + \frac{v \Delta x}{\Delta y} \right) - P(\Delta y \Delta t + \Delta x \Delta t) - \\
 & \frac{2}{3} \rho k (\Delta y \Delta t + \Delta x \Delta t) + \rho g (\Delta y \Delta t + \Delta x \Delta t) + \\
 & f(\Delta y \Delta t + \Delta x \Delta t) - \frac{\rho T \lambda_{eff} \Delta t \left((\Delta y)^2 + (\Delta x)^2 \Delta y \right)}{mc \left(\rho \Delta x \Delta y + \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} \right)}
 \end{aligned}$$

2. Hasil simulasi MATLAB dan FLUENT menunjukkan temperatur maksimum di dalam *boiler* pada kecepatan awal sebesar 20 m/s, 22 m/s, dan 24 m/s berturut-turut sebesar 979.9⁰C, 1289⁰C, dan 1469⁰C. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan awal maka temperatur di dalam *boiler* semakin meningkat.
3. Hasil simulasi MATLAB dan FLUENT menunjukkan temperatur maksimum di dalam *boiler* pada temperatur awal sebesar 258⁰C, 260⁰C, dan 262⁰C berturut-turut sebesar 1174⁰C, 1376⁰C, dan 1543⁰C.
4. Metode volume hingga merupakan metode yang efektif untuk menganalisis perpindahan panas dalam *boiler* Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan tingkat kesalahan perhitungan *error relatif* kurang dari 0.01.
5. Hasil validasi diperoleh nilai 4.65 menunjukkan penelitian ini valid untuk mengasah kemampuan TCK peneliti melalui analisis model matematika perpindahan panas dalam *boiler* pemangkit listrik tenaga uap menggunakan metode volume hingga.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Analisis Model Matematika Perpindahan Panas Dalam *Boiler* Pembangkit Listrik Tenaga Uap Menggunakan Metode Volume Hingga Untuk Mengasah *Technological Content Knowledge*. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Matematika 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. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Ketua Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
3. Ketua Program Studi Pendidikan Matematika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
4. Ketua Laboratorium Matematika Program Studi Pendidikan Matematika Jurusan Pendidikan MIPA FKIP;
5. Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
6. Dosen Pembahas dan Dosen Penguji yang telah memberikan masukan demi kesempurnaan skripsi ini;
7. Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan memberikan ilmu;
8. Dosen dan Karyawan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
9. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 23 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PENGAJUAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMBANG	xvi
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Kebaharuan Penelitian	4
2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pemodelan Matematika	5
2.2 CFD (<i>Computational Fluid Dynamics</i>)	6
2.3 Perangkat Lunak dalam CFD	7
2.3.1 GAMBIT(<i>Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit</i>)	7
2.3.2 FLUENT	8
2.4 Fluida	10
2.4.1 Jenis-Jenis Fluida	11
2.4.2 Jenis-Jenis Aliran Fluida	12
2.5 Metode Volume Hingga	13
2.5.1 Persamaan Energi	14

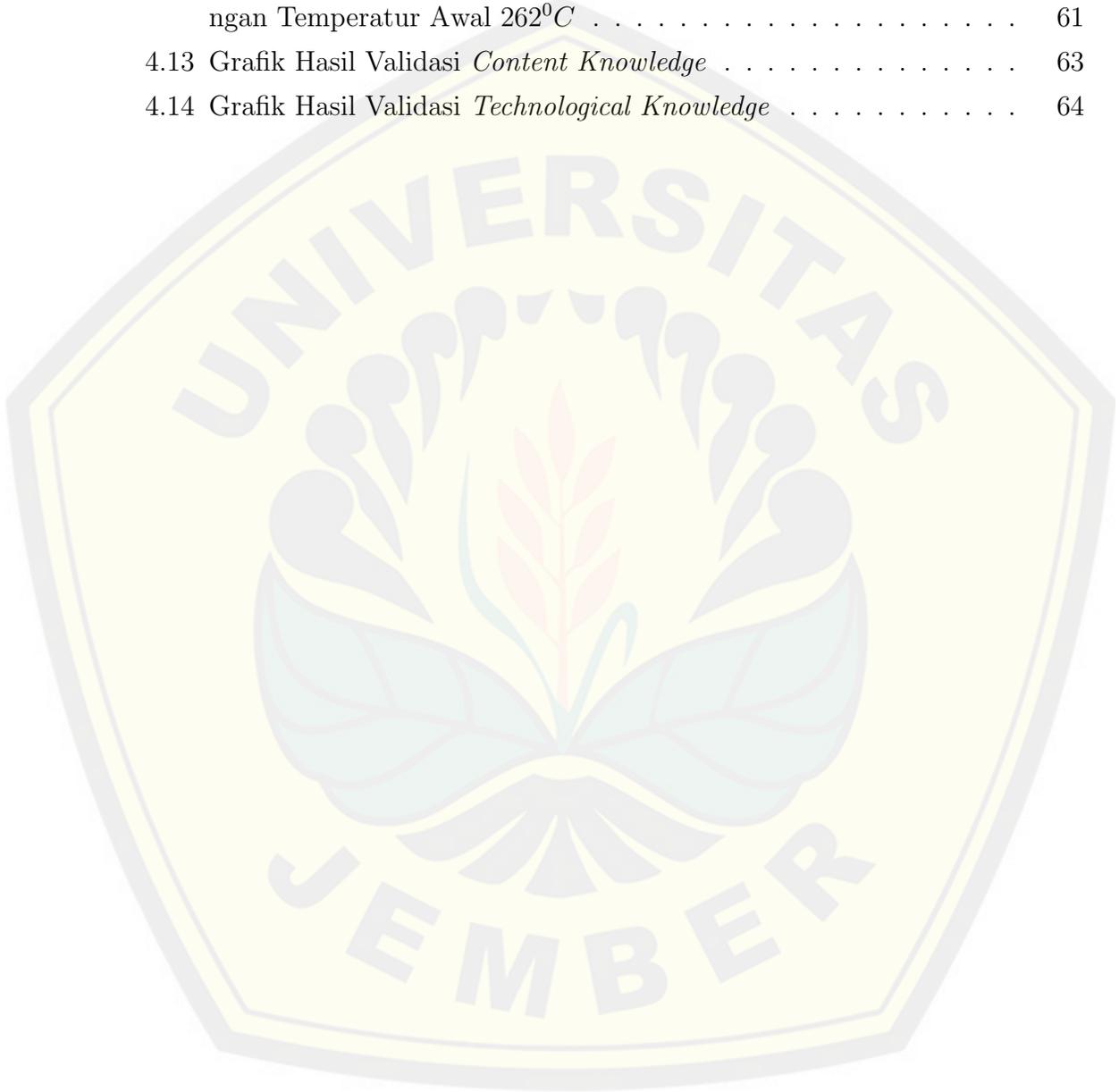
2.5.2	Persamaan Momentum	15
2.6	Teknik Diskritisasi QUICK (<i>Quadratic Upwind Interpolation Con- fictive Kinematics</i>)	16
2.7	Algoritma dan Pemrograman MATLAB	18
2.7.1	Algoritma	18
2.7.2	MATLAB	19
2.7.3	Metode Gauss Seidel	21
2.7.4	Galat atau <i>Error</i>	24
2.8	Boiler Pipa Air (<i>Water Tube Boiler</i>)	24
2.9	Prinsip Pembakaran	28
2.10	TCK(<i>Technological Content Knowledge</i>)	29
3	METODE PENELITIAN	30
3.1	Jenis Penelitian	30
3.2	Tempat Penelitian	30
3.3	Definisi Operasional	30
3.4	Metode Pengumpulan Data	31
3.5	Prosedur Penelitian	32
3.6	Data dan Analisis Data	34
3.7	Instrumen Validasi	35
3.8	Metode Analisis Validasi	35
4	HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1	Model Matematika Perpindahan Panas dalam <i>Boiler</i> PLTU 37	
4.1.1	Pembuktian Persamaan Energi	38
4.1.2	Pembuktian Persamaan Momentum	40
4.2	Penyelesaian Model Matematika Perpindahan Panas da- lam <i>Boiler</i> PLTU	42
4.3	Diskritisasi Dengan Teknik QUICK	45
4.4	Efektivitas Metode Volume Hingga dengan Menggunakan <i>Error Relatif</i> dalam Analisis Perpindahan Panas dalam <i>Boiler</i> Pembangkit Listrik Tenaga Uap	51
4.4.1	Format <i>Programming</i>	52
4.4.2	Penggunaan <i>Error Relatif</i> Pada Metode Volume Hingga	54

4.4.3	Simulasi Pemodelan	54
4.5	Analisis dan Pembahasan	55
4.5.1	Komputasi MATLAB	55
4.5.2	Simulasi FLUENT	58
4.5.3	Analisis Efektivitas Metode Volume Hingga pada Perpindahan Panas dalam <i>Boiler</i> PLTU	62
4.5.4	Analisis dalam Mengasah TCK (<i>Technological Con- tent Knowledge</i>)	62
5	KESIMPULAN DAN SARAN	66
5.1	Kesimpulan	66
5.2	Saran	67
	DAFTAR PUSTAKA	68
	LAMPIRAN	72
	A. Matrik Penelitian	72
	B. Surat Ijin Penelitian	74
	C. Surat Balasan Penelitian	75
	D. Pedoman Wawancara	76
	E. Hasil Wawancara	77
	F. Format <i>Programming</i> MATLAB	78
	G. Hasil Simulasi Program MATLAB	86
	H. Hasil Perhitungan <i>Error Relatif</i>	88
	I. Pedoman Validasi	90
	J. Analisis Hasil Validasi	92
	K. Lembar Penilaian Validasi	93
	L. Lembar Revisi Skripsi	97

DAFTAR GAMBAR

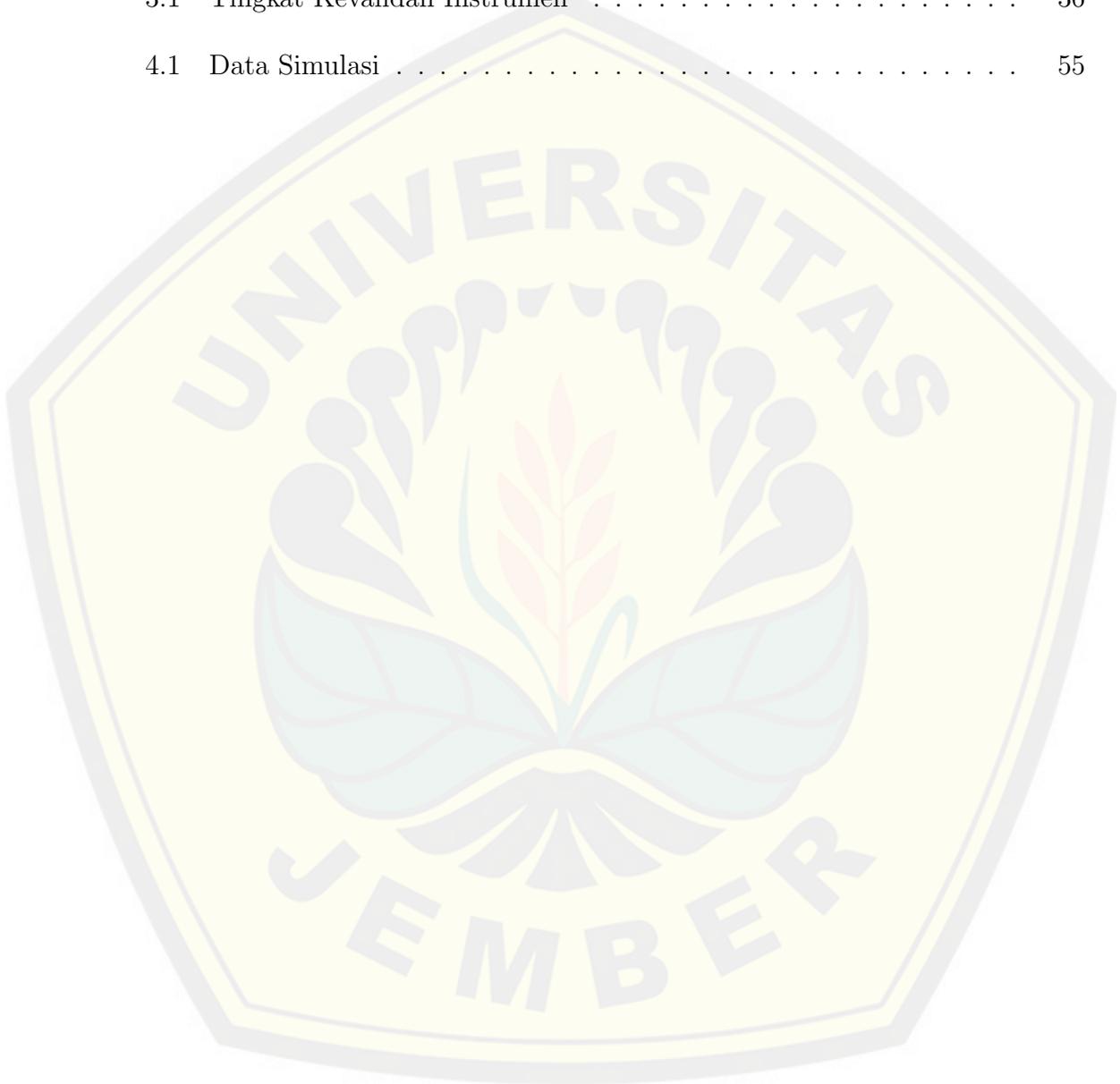
2.1	Tampilan Gambit	7
2.2	Contoh Hasil Simulasi Fluent	9
2.3	Fluida Gas	11
2.4	Fluida Cair	11
2.5	Aliran Laminar dan Turbulen	12
2.6	Model Volume Kendali Dua Dimensi	13
2.7	Sel Pusat dan Sel Vertex	14
2.8	Bagan Volume Kendali Persamaan Energi	15
2.9	Bagan Volume Kendali Persamaan Momentum	16
2.10	Diskritisasi QUICK	17
2.11	Tampilan Matlab	19
2.12	Jenis-Jenis <i>Water Tube Boiler</i>	26
2.13	<i>Boiler</i> Pada PLTU	28
3.1	Diagram Alir Penelitian	33
4.1	Bagan Volume Kendali Persamaan Energi	38
4.2	Bagan Volume Kendali Persamaan Momentum	40
4.3	Skema Diskritisasi Perpindahan Panas dalam <i>Boiler</i>	50
4.4	Grafik Perpindahan Panas dalam <i>Boiler</i> PLTU Berdasarkan Kecepatan Awal	56
4.5	Grafik Perpindahan Panas dalam <i>Boiler</i> PLTU Berdasarkan Temperatur Awal	57
4.6	Desain Geometri dalam Gambit	58
4.7	Kontur Temperatur Perpindahan Panas dalam <i>Boiler</i> PLTU dengan Kecepatan Awal 20 m/s	59
4.8	Kontur Temperatur Perpindahan Panas dalam <i>Boiler</i> PLTU dengan Kecepatan Awal 22 m/s	59
4.9	Kontur Temperatur Perpindahan Panas dalam <i>Boiler</i> PLTU dengan Kecepatan Awal 24 m/s	60

4.10	Kontur Temperatur Perpindahan Panas dalam <i>Boiler</i> PLTU dengan Temperatur Awal $258^{\circ}C$	60
4.11	Kontur Temperatur Perpindahan Panas dalam <i>Boiler</i> PLTU dengan Temperatur Awal $260^{\circ}C$	61
4.12	Kontur Temperatur Perpindahan Panas dalam <i>Boiler</i> PLTU dengan Temperatur Awal $262^{\circ}C$	61
4.13	Grafik Hasil Validasi <i>Content Knowledge</i>	63
4.14	Grafik Hasil Validasi <i>Technological Knowledge</i>	64

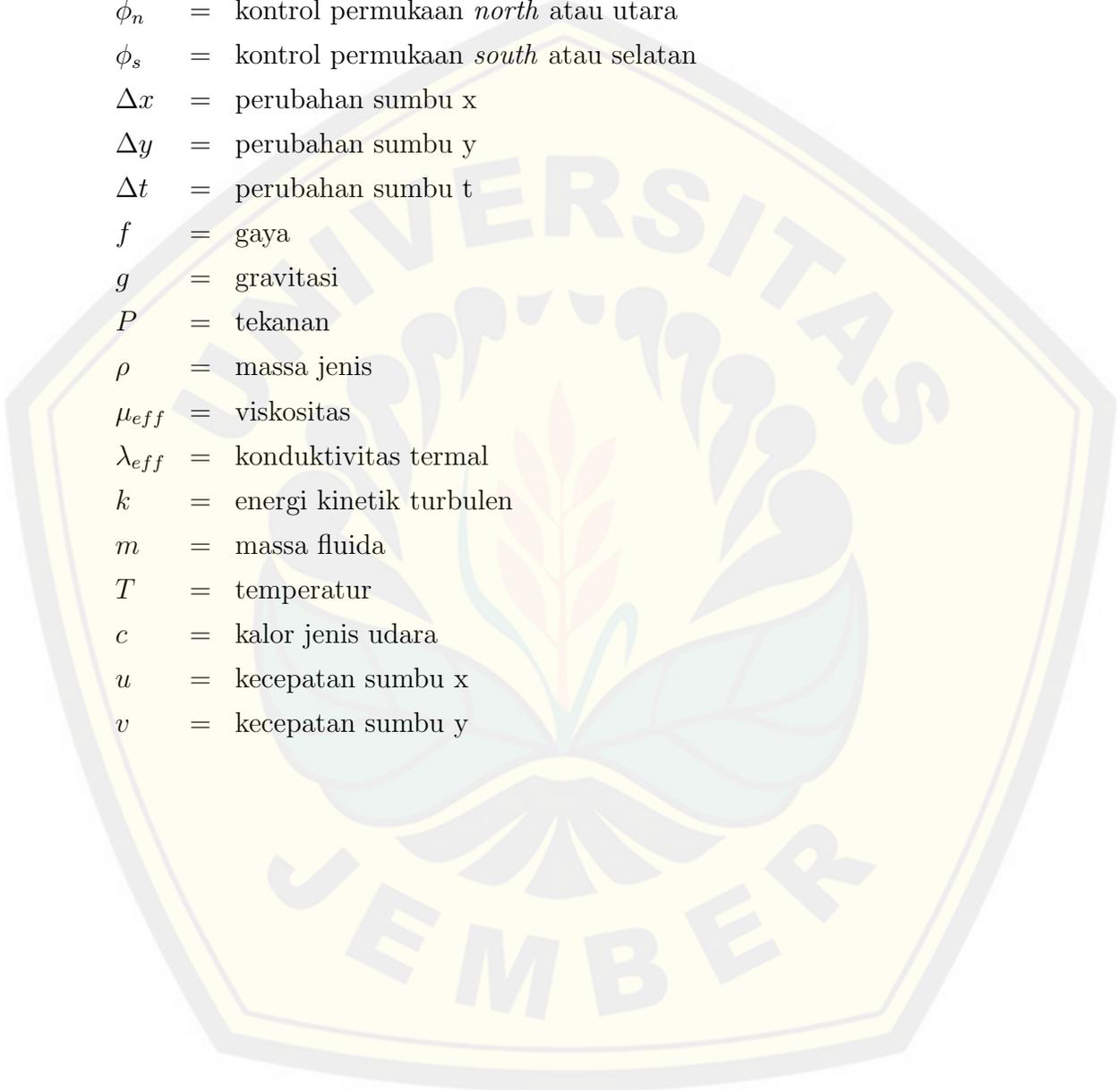


DAFTAR TABEL

2.1	Tabel Penelitian Murni Penggunaan CFD	9
3.1	Tingkat Kevalidan Instrumen	36
4.1	Data Simulasi	55



DAFTAR LAMBANG



ϕ_e	= kontrol permukaan <i>east</i> atau timur
ϕ_w	= kontrol permukaan <i>west</i> atau barat
ϕ_n	= kontrol permukaan <i>north</i> atau utara
ϕ_s	= kontrol permukaan <i>south</i> atau selatan
Δx	= perubahan sumbu x
Δy	= perubahan sumbu y
Δt	= perubahan sumbu t
f	= gaya
g	= gravitasi
P	= tekanan
ρ	= massa jenis
μ_{eff}	= viskositas
λ_{eff}	= konduktivitas termal
k	= energi kinetik turbulen
m	= massa fluida
T	= temperatur
c	= kalor jenis udara
u	= kecepatan sumbu x
v	= kecepatan sumbu y

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Matematika merupakan sumber dari segala ilmu pengetahuan yang memiliki peranan penting dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Oleh karena itu, matematika sering diterapkan untuk menyelesaikan permasalahan yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari yang berkaitan dengan perhitungan dan komputasi. Konsep matematika banyak digunakan di berbagai bidang, salah satunya di bidang fisika. Teori fisika banyak dinyatakan dalam notasi matematis, sehingga matematika dapat digunakan untuk menentukan model matematika dalam masalah perpindahan panas, mekanika fluida dan lain-lain.

Perkembangan ilmu teknologi yang saat ini tetap berkembang yaitu adanya alat untuk menghasilkan uap air yang disebut dengan ketel uap (*boiler*) yang digunakan untuk tenaga gerak atau pemanasan. Memasak air merupakan salah satu contoh penguapan yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari. Uap yang dihasilkan pada proses penguapan akibat pemanasan, jika disimpan pada sebuah tabung akan menghasilkan tenaga yang cukup besar sehingga dapat dimanfaatkan sebagai tenaga gerak terutama dalam bidang industri. Pada bidang industri, *boiler* banyak digunakan pada pabrik, PLTU, kapal dan lain - lain.

Boiler merupakan suatu bejana tertutup berisi air yang dipanaskan sehingga menghasilkan uap air. Energi panas dari uap air tersebut digunakan untuk berbagai keperluan seperti turbin uap, mesin uap dan lain-lain. Sumber panas di dalam *boiler* berasal dari proses pembakaran bermacam-macam bahan bakar seperti batubara, kayu, gas dan minyak bumi. Pada umumnya, pembuatan *boiler* menggunakan bahan baja yang telah ditentukan dalam standart ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) terutama pada *boiler* yang digunakan di industri-industri besar.

Berdasarkan fluida yang mengalir di dalam pipa, *boiler* diklasifikasikan menjadi dua yaitu *boiler* pipa api (*fire tube boiler*) dan *boiler* pipa air (*water tube boiler*). *Fire tube boiler* merupakan tipe *boiler* yang paling sederhana namun ke-

butuhan uap air yang dihasilkan rendah. *Boiler* jenis ini banyak dipakai pada industri skala kecil sampai menengah. Sedangkan pada *water tube boiler* memiliki desain yang lebih kompleks dari *fire tube boiler* dan mampu menghasilkan kualitas uap air yang lebih tinggi. Oleh karena itu, *water tube boiler* digunakan pada industri berskala besar seperti pada pembangkit listrik tenaga uap. Prinsip kerja dari *water tube boiler* berkebalikan dengan *fire tube boiler*, gas pembakaran dari ruang pembakaran (*furnace*) dilewatkan ke pipa-pipa yang berisi air yang akan diuapkan (Raharjo dan Karnowo, 2008:180).

Berbagai perusahaan industri di Indonesia menggunakan *boiler* untuk proses produksinya. Seperti pada PLTU Paiton yang dikelola oleh PT Pembangkitan Jawa-Bali menggunakan *boiler* berjenis *water tube boiler* yang berbahan bakar batubara. Batubara yang dibakar di dalam *boiler* akan menghasilkan panas yang digunakan untuk mengubah air di dalam pipa menjadi uap. Uap akan digunakan sebagai penggerak turbin dan memutar generator untuk pembangkitan listrik.

Proses pembakaran dilakukan secara kontinu di dalam ruang bakar *boiler* dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar. Tekanan ruang bakar pada PLTU berbahan bakar batu bara, bertekanan negatif karena dihasilkan dari dua buah kipas yaitu IDF (*Induced Draft Fan*) dan FDF (*Forced Draft Fan*). IDF berfungsi untuk menghisap gas dari ruang bakar dan membuang ke atmosfer melalui cerobong. Sedangkan FDF untuk menyuplai udara pembakaran menuju ruang bakar (*furnace*) di *boiler*. Saat proses pembakaran, batubara terlebih dahulu dihaluskan sampai menjadi batubara bubuk yang kemudian bersama dengan udara masuk ke dalam ruang pembakaran *boiler*. Di dalam *boiler* terjadi perpindahan panas secara konveksi, konduksi, dan radiasi. Pada ruang bakar di dalam *boiler* terjadi perpindahan panas secara radiasi. Oleh karena itu, proses pembakaran sangat berpengaruh dalam efisiensi panas yang dihasilkan oleh kinerja ruang pembakaran (*furnace*) *boiler*.

Penelitian ini dilakukan untuk mengasah kemampuan TCK (*Technological Content Knowledge*). TCK merupakan pengetahuan dari hubungan timbal balik antara teknologi dan materi pembelajaran. Teknologi berdampak pada apa yang diketahui dan pengenalan terhadap hal-hal baru mengenai gambaran dari suatu konten (materi) dengan cara yang berbeda. Teknologi memungkinkan penemuan konten baru atau gambaran dari konten.

Berdasarkan uraian di atas, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan memodelkan perpindahan panas dalam *boiler* pembangkit listrik tenaga uap. Metode yang digunakan untuk menyelesaikan model matematika dalam penelitian ini adalah metode volume hingga. Pada penelitian ini, proses simulasi menggunakan CFD (*Computational Fluids Dynamics*) dalam bentuk 3 dimensi dan dalam membantu perhitungannya menggunakan MATLAB serta simulasi perpindahan panas pada *boiler* menggunakan *software* FLUENT.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. bagaimana model matematika perpindahan panas dalam *boiler* pembangkit listrik tenaga uap?
2. bagaimana pengaruh kecepatan awal terhadap proses perpindahan panas dalam *boiler* pembangkit listrik tenaga uap?
3. bagaimana pengaruh temperatur awal terhadap proses perpindahan panas dalam *boiler* pembangkit listrik tenaga uap?
4. bagaimana efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis perpindahan panas dalam *boiler* pembangkit listrik tenaga uap?
5. bagaimana kevalidan untuk mengasah TCK melalui analisis model matematika perpindahan panas dalam *boiler* pembangkit listrik tenaga uap?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari meluasnya permasalahan yang akan dipecahkan, maka dalam penelitian ini permasalahan akan dibatasi sebagai berikut:

1. pemodelan mengenai perpindahan panas dalam *boiler*;
2. *boiler* yang diteliti berjenis *water tube boiler* PLTU Paiton unit 1;
3. objek dalam penelitian ini berupa udara saat proses pembakaran dalam *boiler* PLTU;
4. proses analisis berdasarkan kecepatan awal dan temperatur awal pada *boiler*;
5. persamaan model matematika yang dilakukan adalah persamaan energi dan persamaan momentum;
6. pemodelan dilakukan dengan keadaan *boiler* berfungsi dengan baik;
7. metode penyelesaian yang digunakan adalah metode volume hingga.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. mengetahui model matematika perpindahan panas dalam *boiler* pembangkit listrik tenaga uap;
2. mengetahui pengaruh kecepatan awal terhadap proses perpindahan panas dalam *boiler* pembangkit listrik tenaga uap;
3. mengetahui pengaruh temperatur awal terhadap proses perpindahan panas dalam *boiler* pembangkit listrik tenaga uap;
4. mengetahui efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis perpindahan panas dalam *boiler* pembangkit listrik tenaga uap;
5. mengetahui kevalidan dalam mengasah TCK melalui analisis model matematika perpindahan panas dalam *boiler* pembangkit listrik tenaga uap menggunakan metode volume hingga.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. menambah pengetahuan peneliti dalam bidang pemodelan matematika;
2. menambah pengetahuan peneliti dalam mengasah TCK;
3. menjadi sumber bacaan bagi peneliti lain dalam penelitian sejenis atau penelitian lebih lanjut;
4. memberikan kontribusi terhadap berkembangnya pengetahuan baru dalam bidang pemodelan matematika menggunakan metode volume hingga di program studi pendidikan matematika FKIP Universitas Jember;
5. memberikan kontribusi kepada perusahaan industri tentang pemodelan pada *boiler*.

1.6 Kebaharuan Penelitian

Adapun kebaruan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. mengembangkan model matematika dengan penelitian sebelumnya;
2. objek penelitian berupa udara saat proses pembakaran dalam *boiler* PLTU;
3. menggunakan metode volume hingga;
4. model matematika akan disimulasikan menggunakan FLUENT;
5. penelitian digunakan untuk mengasah *Technological Content Knowledge*.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemodelan Matematika

Model matematika dari suatu masalah adalah rumusan masalah dalam bentuk persamaan atau fungsi matematika. Sedangkan pemodelan matematika dari suatu masalah adalah langkah-langkah yang ditempuh untuk memperoleh dan memanfaatkan persamaan atau fungsi matematika dari suatu masalah (Zarlis, 2008). Terdapat dua jenis model, yaitu model fisik dan model konseptual. Model fisik adalah realisasi fisik seperti apa adanya namun berukuran kecil. Model konseptual adalah realisasi fisik seperti apa adanya tetapi merupakan pernyataan atau bahasa matematika (Setiawan Hem, 2008).

Pemodelan merupakan penghubung antara matematika dengan dunia nyata. Pemodelan matematika dapat diartikan sebagai penggunaan matematika untuk menyelesaikan masalah di luar konteks matematika secara matematis. Dalam pemodelan matematika, konteks atau masalah nyata disusun dalam suatu model matematika sehingga mudah ditemukan solusinya (Nurjannah dan Hajarul, 2017:142). Pemodelan matematika merupakan penerjemahan masalah nyata yang telah diidentifikasi ke dalam lambang atau bahasa matematika, proses pemodelan dapat diterjemahkan dari fenomena atau masalah dunia *real* menjadi masalah matematika (Parlaungan, 2008).

Langkah-langkah pemodelan matematika menurut Fitria (2011: 62), yaitu :

1. Identifikasi Masalah

Memulai dengan memahami masalah yang akan dirumuskan sehingga dapat ditranslasi ke dalam bahasa matematika.

2. Membuat Asumsi

Membuat asumsi dilakukan dengan cara menyederhanakan banyaknya faktor yang berpengaruh terhadap kejadian yang sedang diamati dengan mengasumsikan hubungan sederhana antara variabel.

3. Menyelesaikan atau Menginterpretasikan Model

Setelah model diperoleh kemudian diselesaikan secara matematis, dalam hal ini model yang digunakan dan penyelesaiannya menggunakan persamaan dife-

rensial. Apabila pemodel mengalami kesulitan untuk menyelesaikan model dan interpretasi model, maka kembali ke langkah 2 dan membuat asumsi sederhana tambahan atau kembali ke langkah 1 untuk membuat definisi ulang dari permasalahan. Penyederhanaan atau definisi ulang sebuah model merupakan bagian yang penting dalam matematika model.

4. Verifikasi Model

Sebelum menyimpulkan kejadian dunia nyata dari hasil model, terlebih dahulu model tersebut harus diuji dengan mengoperasikan model.

2.2 CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

Menurut Al-Kindi (2015) *Computational Fluid Dynamics* atau bisa disebut CFD merupakan program komputer perangkat lunak untuk memprediksi dan menganalisis secara kuantitatif aliran fluida, perpindahan panas, transpor fenomena dan reaksi kimia. Analisis aliran fluida dalam suatu sistem dengan CFD merupakan analisis numerik dengan kontrol volume sebagai elemen dari integrasi persamaan-persamaan yang terdiri dari persamaan keseimbangan massa, momentum dan energi (Versteeg dan Malalasekera, 1995). CFD menyelesaikan masalah berdasarkan pada persamaan fundamental dari dinamika fluida (Samuel dan Parlington, 2011).

Menurut Widodo *et al* (2018:57-59) simulai CFD dibagi menjadi tiga tahapan utama, yaitu:

1. *Pre-processing*

Pre-processing merupakan tahapan awal yang dilakukan dalam pembuatan model dan menentukan kondisi simulasi *input* dan *output* yang mewakili kondisi nyata atau kondisi kerja yang diinginkan serta pengaturan *mesh*. Tahap ini data yang diinput mulai dari pendefinisain *domain*, yaitu: *inlet* sebagai tempat fluida memasuki *domain*, *outlet* sebagai tempat fluida keluar dari *domain* dan *boundary condition* serta membuat *mesh/grid* pada model dengan menggunakan CFD.

2. *Solver*

Selanjutnya, *solver* merupakan tahap untuk menjalankan simulasi berdasarkan parameter yang ditentukan pada tahap *pre-processing*. Setelah perintah untuk melaksanakan simulasi diberikan (*solve*), komputer akan melakukan perhitungan atau komputasi secara otomatis dan *user* (pengguna perangkat

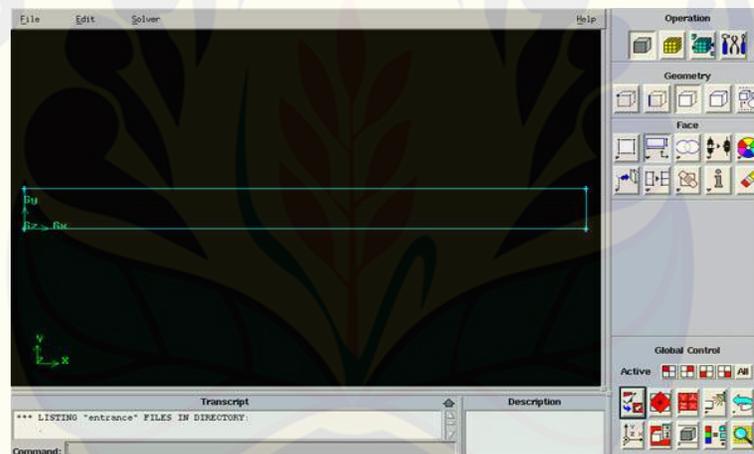
lunak) hanya perlu memantau ringkasan hasil perhitungan yang ditampilkan dalam bentuk teks atau grafik. Simulasi CFD akan berhenti setelah kondisi akhir tercapai atau kondisi *steady state* sudah tercapai.

3. *Post-processing*

Tahap terakhir *Post-processing*, dimana hasil analisa komputasi numerik diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola-pola warna tertentu dan kemudian dianalisa pengaruh parameter yang ditentukan. Untuk hasil dari simulasi ditunjukkan dengan menggunakan gambar kontur dari beberapa parameter serta dapat diplotkan ke dalam bentuk grafik sehingga memudahkan dalam proses analisa.

2.3 Perangkat Lunak dalam CFD

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



Gambar 2.1 Tampilan Gambit
(sumber:www.google.com)

GAMBIT (*Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit*) merupakan alat *preprocessor* yang digunakan untuk membuat model dan *meshing* yang selanjutnya dianalisis menggunakan program CFD. GAMBIT memudahkan peneliti dalam mengkonstruksi bentuk secara geometris. Pada *software* ini terdapat beberapa menu untuk membuat bentuk geometris serta bentuk yang tidak teratur. GAMBIT dapat membuat berbagai macam bentuk 2 dimensi atau 3 dimensi, bahkan bentuk tak beraturan dan rumit. Hal ini dikarenakan GAMBIT dapat melakukan

proses diskritisasi (*meshing*) dengan berbagai macam *mesh* seperti *mesh* heksahedral terstruktur dan tidak terstruktur, tetrahedral, piramid, dan prisma. *Meshing* mempermudah peneliti dalam melakukan komputasi karena dapat membagi bentuk geometri dari objek yang diteliti. Ukuran *mesh* yang terdapat pada suatu objek mempengaruhi ketelitian dan daya komputasi analisis CFD. Semakin kecil atau halus *mesh* yang dibuat, maka hasil yang didapatkan akan semakin teliti, namun dibutuhkan daya komputasi yang semakin besar. Tahapan terakhir dalam penggunaan GAMBIT yaitu menentukan jenis kondisi batas *boundary condition*. Proses diskritisasi yang telah dibuat pada GAMBIT akan dianalisis menggunakan FLUENT.

2.3.2 FLUENT

FLUENT merupakan program yang digunakan untuk mensimulasikan perpindahan kalor dan aliran fluida dengan berbagai bentuk geometri. Permasalahan diselesaikan dengan menggunakan bantuan *mesh* yang telah dibuat menggunakan GAMBIT, dimana *mesh* yang didukung oleh Fluent adalah 2D *triangular-quadrilateral*, 3D *tetrahedral - hexahedral - pyramid - wedge*, dan *mesh* campuran. Langkah-langkah penyelesaian masalah menggunakan Fluent adalah sebagai berikut:

1. membuat geometri dan *mesh* pada model menggunakan GAMBIT;
2. memilih model yang tepat (2D atau 3D);
3. mengimpor *mesh* model dari GAMBIT;
4. melakukan pemeriksaan pada *mesh* model;
5. memilih model yang sesuai dengan permasalahan seperti formulasi *solver*, energi, viskositas, dan lain-lain;
6. menentukan sifat material yang terdapat dalam permasalahan;
7. menentukan kondisi batas;
8. mengatur parameter kontrol solusi;
9. melakukan *initialize*;
10. melakukan iterasi;
11. hasil iterasi dapat ditampilkan dalam bentuk kontur, vektor, *pathline*, dan lain-lain (Jufrianto *et al*, 2014:4).

Dari langkah-langkah di atas, fluent dapat menghasilkan simulasi 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 (Tuakia, 2008:138).

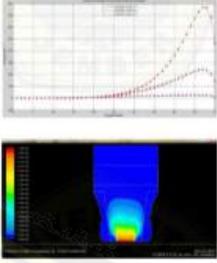
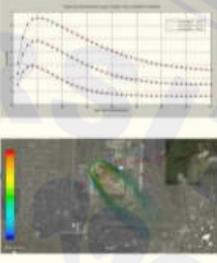


Gambar 2.2 Contoh Hasil Simulasi Fluent

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

Tabel 2.1 Tabel Penelitian Murni Penggunaan CFD

No	Model Matematika	Simulasi CFD	Publikasi
1	$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial \rho q u \phi}{\partial x} = \frac{\partial^2 \mu \phi_0}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 \mu_t \phi_0}{\partial^2 x \tau_k} + 2 \left(\frac{\partial^2 U \mu_t}{\partial^2 x} \right)$		Lazuardi, Ahmad R. 2017. <i>Analisis Numerik Aliran Fluida Pada Heat Exchanger Menggunakan Metode Elemen Hingga Sebagai Monograf</i> . Skripsi. Jember: Program Studi Pendidikan Matematika FKIP.

No	Model Matematika	Simulasi CFD	Publikasi
2	$\begin{aligned} & \left(\rho \eta u \Delta y \Delta t - \frac{\rho^2 \Delta x \Delta y^2 \Delta t}{\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} \right) \\ & + \left(\frac{\rho^2 \Delta x \Delta y^2 \Delta t}{\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} - \rho \eta u \Delta y \Delta t \right) \\ & + \left(\rho \eta v \Delta x \Delta t - \frac{\rho^2 \Delta y \Delta x^2 \Delta t}{\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} \right) \\ & + \left(\frac{\rho^2 \Delta y \Delta x^2 \Delta t}{\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} - \rho \eta v \Delta x \Delta t \right) \\ & = -P \Delta y \Delta t - P \Delta x \Delta t + 2\mu \frac{u}{\Delta x} \Delta y \Delta t + 2\mu \frac{v}{\Delta y} \Delta x \Delta t \\ & + \rho g \Delta y \Delta t + \rho g \Delta x \Delta t - \eta d \Delta y \Delta t - \eta d \Delta x \Delta t \end{aligned}$		<p>Amalina, Putri N. 2017. Analisis Model Matematika Pada Perpindahan Panas Konveksi Penerimaan Volumetrik di Menara Surya Menggunakan Metode Volume Hingga dan Sebagai Monograf. Skripsi. Jember: Program Studi Pendidikan Matematika FKIP.</p>
3	$\begin{aligned} C_w & \left[\rho u \left(\frac{-u \Delta x \Delta y}{\Delta x \Delta y - D \left(\frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} \right)} + 1 \right) \Delta y \Delta t + \right. \\ C_e & \left[\rho u \left(\frac{u \Delta x \Delta y}{\Delta x \Delta y - D \left(\frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} \right)} - 1 \right) \Delta y \Delta t + \right. \\ C_s & \left[\rho \left(\frac{-uv \Delta x \Delta y}{\Delta x \Delta y - D \left(\frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} \right)} + v \right) \Delta x \Delta t + \right. \\ C_n & \left[\rho \left(\frac{uv \Delta x \Delta y}{\Delta x \Delta y - D \left(\frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} \right)} - v \right) \Delta x \Delta t = \right. \\ & - \rho u \left(\frac{T_0 (\Delta y \Delta t + \Delta x \Delta t) + q_e \Delta x \Delta y}{\Delta x \Delta y - D \left(\frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} \right)} \right) \Delta x \Delta y \\ & - P (\Delta y \Delta t + \Delta x \Delta t) + u v_d \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + u v_d \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} + (2u\mu + v\mu) \\ & \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + (u\mu + 2v\mu) \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} + (v\mu + u\mu) \Delta t + f_1 \Delta x \Delta y \Delta t \end{aligned}$		<p>Sari, Firda Yulian. 2018. Analisis Model Matematika Penyebaran Asap Pabrik Gula Semboro Jember Menggunakan Metode Volume Hingga Untuk Mengasah Kemampuan TCK.</p>

2.4 Fluida

Fluida adalah zat mengalir yang mengalami perubahan bentuk secara terus menerus (*continue*) apabila terkena gaya geser atau tekanan meskipun relatif kecil. Fluida dapat dengan mudah bergerak dan berubah bentuk tanpa pemisahan massa. Ketahanan fluida terhadap perubahan bentuk sangat kecil sehingga dapat dengan mudah mengikuti bentuk ruang. Fluida mempunyai kerapatan tertentu pada temperatur dan tekanan tertentu, apabila temperatur dan tekanan suatu fluida berubah maka kerapatannya akan berubah. Menurut Ghurri (2014:9) fluida dapat dibedakan menjadi fluida *compressible* dan *incompressible*. Fluida *compressible* atau mampat yaitu fluida yang densitas atau kerapatan massanya bisa berubah-ubah, kerapatan meningkat jika menerima tekanan dan menurun jika mengalami ekspansi. Fluida *incompressible* atau tak mampu mampat merupakan fluida yang jika terkena tekanan, perubahan kerapatan massanya sangat kecil sehingga diabaikan dan kerapatannya tidak bisa berubah.

2.4.1 Jenis-Jenis Fluida

Dilihat dari bentuknya, fluida dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

1. Gas

Gas yaitu suatu zat yang molekul- molekulnya dapat bergerak secara bebas dan bersifat memenuhi seluruh ruangan yang ditempatinya. Gaya kohesi antar molekul sangatlah kecil karena jarang terjadi interaksi antar molekul terutama oleh tumbukan. Gas tidak memiliki permukaan bebas dan masanya selalu berkembang mengisi seluruh ruangan serta dapat dimampatkan. Salah satu contoh dari zat gas adalah asap.



Gambar 2.3 Fluida Gas
(sumber:aryadoeta.com)

2. Cair



Gambar 2.4 Fluida Cair
(sumber:jarwadi.me)

Zat cair merupakan suatu zat yang bergerak dan berubah bentuk sesuai dengan tempat yang ditempatinya. Gaya kohesi antar molekul cukup besar karena jarak antara molekul tidaklah terlalu besar. Zat cair memiliki permukaan bebas dan massanya mengisi ruangan sesuai dengan volumenya, serta tidak dapat dimampatkan. Salah satu contoh dari zat cair adalah air.

2.4.2 Jenis-Jenis Aliran Fluida

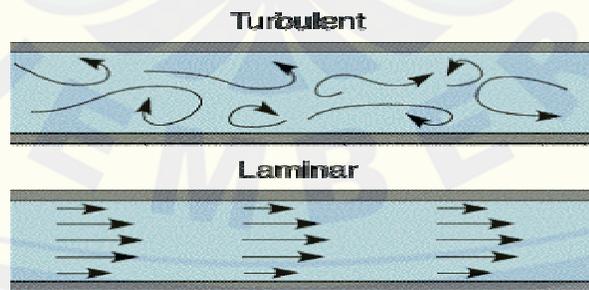
Menurut Simanjuntak *et al* (2017:346) aliran fluida dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Aliran Laminar

Aliran laminar adalah aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dengan garis-garis arusnya. Dalam aliran laminar, partikel-partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus dan lancar, dengan satu lapisan meluncur satu arah pada lapisan yang bersebelahan. Sifat kekentalan zat cair berperan penting dalam pembentukan aliran laminar. Aliran laminar bersifat tetap (*steady*). Hal ini menunjukkan bahwa di seluruh aliran air, debit alirannya tetap atau kecepatan alirannya tidak berubah menurut waktu.

2 Aliran Turbulen

Kecepatan aliran relatif besar akan menghasilkan aliran yang tidak laminar melainkan kompleks, lintasan gerak partikel saling tidak teratur antara satu dengan yang lain. Sehingga ciri dari aliran turbulen yaitu tidak adanya keteraturan dalam lintasan fluidanya, aliran banyak bercampur, kecepatan fluida tinggi, panjang skala aliran besar dan viskositasnya rendah.



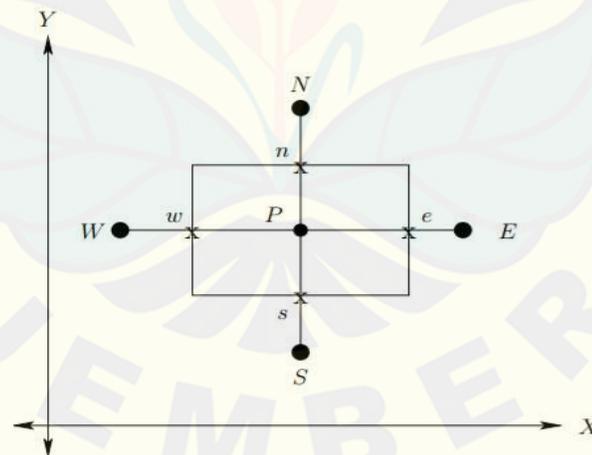
Gambar 2.5 Aliran Laminar dan Turbulen
(sumber:khammal.blogspot.com)

3 Aliran Transisi

Aliran transisi adalah kondisi partikel fluida yang berada pada peralihan dari kondisi seragam menuju kondisi acak, pada kenyataannya kondisi seperti ini sangat sulit terjadi.

2.5 Metode Volume Hingga

Menurut Hendra (dalam Aprianto *et al*, 2014:118) Metode Volume Hingga adalah suatu metode yang sering digunakan pada metode numerik. Metode numerik adalah perhitungan dengan cara membagi dan mempartisi suatu obyek menjadi beberapa bagian, sehingga memudahkan kita untuk melakukan perhitungan. Metode volume hingga sesuai diterapkan pada masalah aliran fluida dan aerodinamika khususnya pada benda yang memiliki pergerakan fluida tidak teratur. Pada metode volume hingga harus diketahui domainnya dengan jelas, dari domain tersebut dibagi menjadi *grid - grid* baik terstruktur maupun tidak. Pada masing-masing *grid* memenuhi persamaan matematika yang terbentuk. Persamaan yang terbentuk dalam *face* (permukaan) sehingga perlu diubah menjadi *node* (titik). Dalam metode ini perlu dilakukan pendiskritan sehingga persamaan yang terbentuk merupakan nilai *node* (Apsley dalam Saptaningtyas, 2010:2).



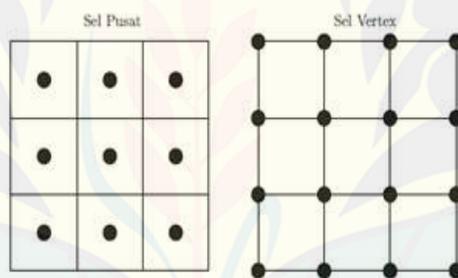
Keterangan:

P : kumpulan sel pusat W atau w : west/barat
 X : sumbu x E atau e : east/timur
 Y : sumbu y N atau n : north/utara
 S atau s : south/selatan

Gambar 2.6 Model Volume Kendali Dua Dimensi

Pada penelitian ini menggunakan metode volume hingga karena penelitian ini menggunakan aliran fluida berupa udara atau gas. Bentuk geometri metode volume hingga umumnya tidak beraturan seperti gas. 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 yaitu persamaan energi dan persamaan momentum, sedangkan massa udara dianggap tetap (konstan).

Pada Gambar 2.7 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 perpindahan panas pada ruang bakar di dalam ketel uap (*boiler*).



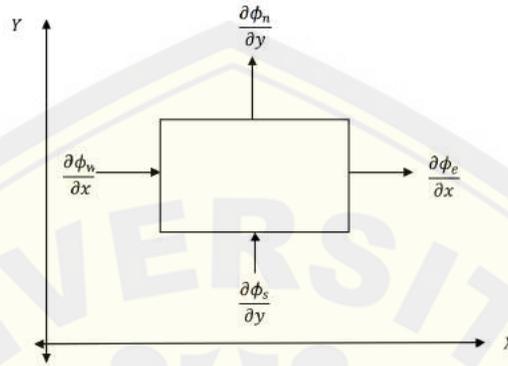
Gambar 2.7 Sel Pusat dan Sel Vertex

Pemodelan matematika pada penelitian ini menggunakan teknik diskritisasi *Quadratic Upwind Interpolation Confective Kinematics* (QUICK). Teknik diskritisasi QUICK dipilih karena penyelesaian model matematika perpindahan panas pada ruang bakar di dalam *boiler* menggunakan metode volume hingga dengan *grid* pada domain terstruktur. Dengan dua persamaan alur aliran fluida yang menyatakan hukum kekekalan fisika yaitu hukum kekekalan energi dan hukum kekekalan momentum.

2.5.1 Persamaan Energi

Pada penelitian ini, dipilih sebuah volume kendali keunsuran yang letaknya tetap. Perpindahan panas di dalam *boiler* merupakan aliran fluida yang turbulen,

sehingga persamaan energi yang dibentuk merupakan persamaan energi untuk aliran turbulen. Fluks energi yang terjadi pada empat sisi sesuai dengan Gambar 2.8, yaitu dua masuk dan dua keluar, S (*source*) merupakan energi sistem pada persamaan energi.



Gambar 2.8 Bagan Volume Kendali Persamaan Energi

Bentuk umum persamaan energi adalah :

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + [pure\ rate] = \Sigma S \quad (2.1)$$

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

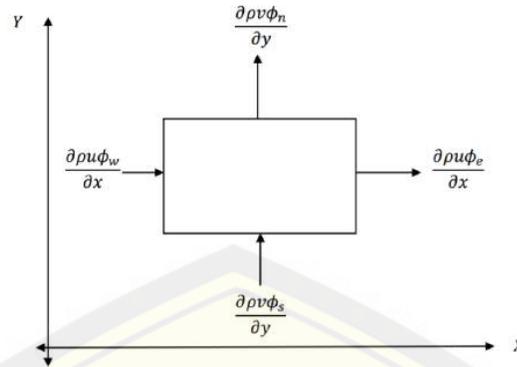
$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + [output-input] = \Sigma S \quad (2.2)$$

2.5.2 Persamaan Momentum

Persamaan momentum dibentuk berdasarkan hukum kekekalan momentum yang diturunkan melalui persamaan diferensial gerak fluida dengan meninjau volume keunsuran atau sistem keunsuran (White, 1986:202). F adalah gaya yang bekerja di dalam sistem yaitu tekanan (p), gaya gravitasi (g) dan kekentalan zat (μ).

Bentuk umum persamaan momentum adalah:

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + [pure\ rate] = \Sigma F \quad (2.3)$$



Gambar 2.9 Bagan Volume Kendali Persamaan Momentum

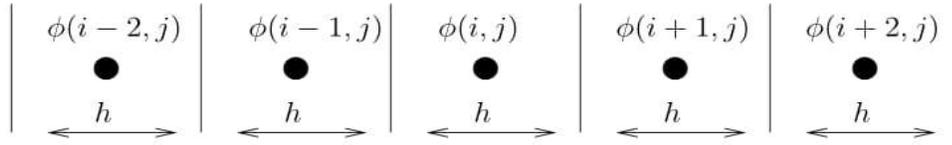
Karena objek yang diamati tidak terlihat yaitu zat gas, maka *pure rate* = *output* - *input*.

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + [\text{output} - \text{input}] = \Sigma F \quad (2.4)$$

2.6 Teknik Diskritisasi QUICK (*Quadratic Upwind Interpolation Convective Kinematics*)

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* memiliki kontrol bidang (*face*) dan kontrol titik (*node*). Kontrol *face* untuk tiga 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 perpindahan panas pada ruang pembakaran di dalam *boiler* 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 2.10.

Pendiskritisasian dengan menggunakan metode QUICK untuk merubah nilai pada bidang menjadi nilai pada titik, diilustrasikan seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Diskritisasi QUICK
(Fatahillah, 2011:15)

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

$$\phi_n(i, j) = \phi(i, j) + g_1(\phi(i+1, j) - \phi(i, j)) + g_2(\phi(i, j) - \phi(i-1, j)) \quad (2.5)$$

dengan bobot g_1 :

$$g_1 = \frac{[\phi_n(i, j) - \phi(i, j)][\phi_n(i, j) - \phi(i-1, j)]}{[\phi(i+1, j) - \phi(i, j)][\phi(i+1, j) - \phi(i-1, j)]} = \frac{(\frac{1}{2}h)(\frac{3}{2}h)}{(h)(2h)} = \frac{3}{8} \quad (2.6)$$

dan bobot untuk g_2 yaitu:

$$g_2 = \frac{[\phi_n(i, j) - \phi(i, j)][\phi_n(i+1, j) - \phi(i, j)]}{[\phi(i+1, j) - \phi(i, j)][\phi(i+1, j) - \phi(i-1, j)]} = \frac{(\frac{1}{2}h)(\frac{1}{2}h)}{(h)(2h)} = \frac{1}{8} \quad (2.7)$$

Substitusikan nilai g_1 dan g_2 ke persamaan 2.5, sehingga diperoleh rumus untuk $\phi_n(i, j)$:

$$\begin{aligned} \phi_n(i, j) &= \phi(i, j) + g_1[\phi(i, j+1) - \phi(i, j)] + g_2[\phi(i, j) - \phi(i, j-1)] \\ &= \phi(i-1, j) + \frac{3}{8}[\phi(i, j+1) - \phi(i, j)] + \frac{1}{8}[\phi(i, j) - \phi(i, j-1)] \\ &= -\frac{1}{8}\phi(i, j-1) + \frac{3}{4}\phi(i, j) + \frac{3}{8}\phi(i, j+1) \end{aligned} \quad (2.8)$$

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

$$\begin{aligned} \phi_e(i, j) &= \phi(i, j) + g_1[\phi(i+1, j) - \phi(i, j)] + g_2[\phi(i, j) - \phi(i-1, j)] \\ &= \phi(i, j) + \frac{3}{8}[\phi(i+1, j) - \phi(i, j)] + \frac{1}{8}[\phi(i, j) - \phi(i-1, j)] \\ &= -\frac{1}{8}\phi(i-1, j) + \frac{3}{4}\phi(i, j) + \frac{3}{8}\phi(i+1, j) \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned}
\phi_w(i, j) &= \phi(i-1, j) + g_1[\phi(i, j) - \phi(i-1, j)] + g_2[\phi(i-1, j) - \phi(i-2, j)] \\
&= \phi(i-1, j) + \frac{3}{8}[\phi(i, j) - \phi(i-1, j)] + \frac{1}{8}[\phi(i-1, j) - \phi(i-2, j)] \\
&= -\frac{1}{8}\phi(i-2, j) + \frac{3}{4}\phi(i-1, j) + \frac{3}{8}\phi(i, j)
\end{aligned} \tag{2.10}$$

$$\begin{aligned}
\phi_s(i, j) &= \phi(i, j-1) + g_1[\phi(i, j) - \phi(i, j-1)] + g_2[\phi(i, j-1) - \phi(i, j-2)] \\
&= \phi(i, j-1) + \frac{3}{8}[\phi(i, j) - \phi(i, j-1)] + \frac{1}{8}[\phi(i, j-1) - \phi(i, j-2)] \\
&= -\frac{1}{8}\phi(i, j-2) + \frac{3}{4}\phi(i, j-1) + \frac{3}{8}\phi(i, j)
\end{aligned} \tag{2.11}$$

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.

2.7 Algoritma dan Pemrograman MATLAB

2.7.1 Algoritma

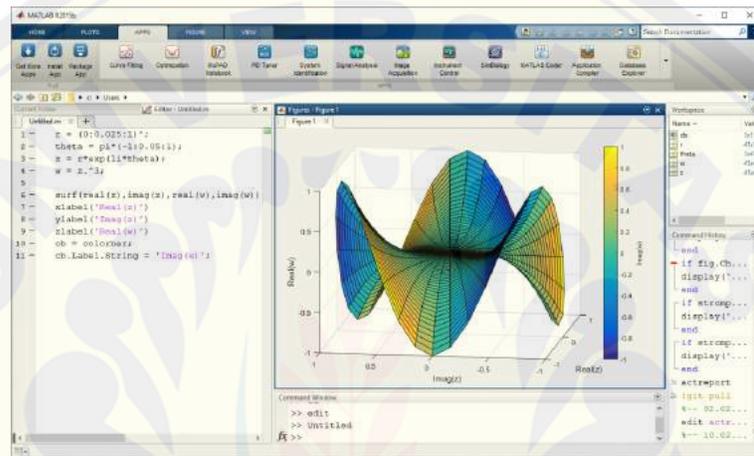
Algoritma adalah urutan langkah-langkah yang dinyatakan dengan jelas dan tidak rancu untuk memecahkan suatu masalah (jika ada pemecahannya) dalam rentang waktu tertentu (Sahid, 2005:2). Algoritma merupakan bagian yang terpenting dan tidak dapat dipisahkan dari pemrograman. Banyak cabang ilmu komputer yang diacu dalam termonologi algoritma. Menurut Sahyar (2016:2) program komputer adalah perintah-perintah yang disusun berdasarkan algoritma dengan menggunakan bahasa pemrograman untuk menyelesaikan suatu masalah. Bahasa pemrograman merupakan perangkat lunak yang dapat menerjemahkan algoritma dalam bentuk teks perintah yang dapat dimengerti oleh komputer untuk menyelesaikan masalah. Donald E. Knuth (dalam Suarga, 2006:1) menyatakan bahwa ada beberapa ciri algoritma, yaitu:

1. Algoritma mempunyai awal dan akhir. Suatu algoritma harus berhenti setelah mengerjakan serangkaian tugas atau dengan kata lain suatu algoritma

memiliki langkah yang terbatas. Setiap langkah harus didefinisikan dengan tepat sehingga tidak memiliki arti ganda (*not ambiguous*).

2. Memiliki masukan (input) atau kondisi awal.
3. Memiliki keluaran (output) atau kondisi akhir.
4. Algoritma harus efektif, bila diikuti benar-benar akan menyelesaikan persoalan.

2.7.2 MATLAB



Gambar 2.11 Tampilan Matlab
(sumber:www.elektrikvedisi.net)

MATLAB (*Matrix Laboratory*) merupakan bahasa pemrograman dengan kemampuan tinggi dalam bidang komputasi. MATLAB memiliki kemampuan mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman. Sehingga, MATLAB banyak digunakan dalam bidang riset - riset yang memerlukan komputasi numerik yang kompleks (Away: 2010). Penggunaan MATLAB di berbagai bidang, yaitu:

1. matematika dan komputasi;
2. pengembangan dan algoritma;
3. pemrograman modeling, simulasi, dan pembuatan prototipe;
4. analisis data, eksplorasi, dan visualisasi;
5. analisis numerik dan statistik;
6. pengembangan aplikasi teknik.

Bahasa MATLAB dapat digunakan dalam sebuah sistem MATLAB interaktif yang elemen data dasarnya adalah *array* yang tidak membutuhkan pengaturan dimensi. Hal ini memungkinkan penyelesaian banyak masalah komputasi teknik, terutama yang berhubungan dengan formulasi matriks dan vektor. 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). Dalam lingkungan perguruan tinggi, MATLAB digunakan sebagai alat pembelajaran standar untuk tahap pengenalan dan pengembangan penyajian materi matematika, teknik dan sains. Dalam industri, MATLAB adalah salah satu alat yang dapat dipilih untuk penelitian, pengembangan dan analisis (Sahid: 2004).

Pada tampilan awal, terdapat beberapa jendela yang merupakan bagian penting di dalam MATLAB yaitu:

1. *Command Window*

Pada *command window*, semua perintah MATLAB dituliskan dan dieksekusi (*commands*). Kita dapat menuliskan perintah perhitungan sederhana, memanggil fungsi, mencari informasi tentang sebuah fungsi dengan aturan penulisannya. Cara menuliskan ekspresi MATLAB pada *command window* yaitu sebelum menulis ekspresi harus didahului dengan tanda *prompt* ($>>$). Pada software MATLAB versi baru tanda *prompt* secara otomatis akan muncul.

2. *Workspace*

Jendela ini menampilkan variabel yang aktif saat penggunaan MATLAB. Apabila variabel berupa data matriks yang berukuran besar maka *user* dapat melihat isi dari seluruh data dengan melakukan *double* klik pada variabel tersebut. MATLAB secara otomatis akan menampilkan *window* ("*array editor*") yang berisikan data pada setiap variabel yang dipilih *user*.

3. *Command History*

Pada jendela ini, berisi informasi tentang perintah yang pernah dituliskan sebelumnya. Kita dapat mengambil kembali perintah dengan menekan tombol

panah ke atas atau mengklik perintah pada jendela histori, kemudian melakukan *copy - paste* ke *command window*.

2.7.3 Metode Gauss Seidel

Metode iterasi Gauss-Seidel adalah metode yang menggunakan proses iterasi hingga diperoleh nilai-nilai yang berubah-ubah (Samosir, 2014: 56). 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:

$$AX = B \quad (2.12)$$

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

$$QX = (Q - A)X + B \quad (2.13)$$

selanjutnya dapat dituliskan dalam bentuk iterasi ke- k :

$$QX^{(k)} = (Q - A)X^{(k-1)} + B, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.14)$$

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

$$QX^{(k)} = (Q - A)X^{(k-1)} + B$$

$$\left(\frac{1}{\omega}D + L\right)X^{(k)} = \left(\frac{1}{\omega}D + L - A\right)X^{(k-1)} + B$$

$$\frac{1}{\omega}DX^{(k)} = -LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1\right)D + D + L - A\right)X^{(k-1)} + B$$

$$\frac{1}{\omega}DX^{(k)} = -LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1\right)D - U\right)X^{(k-1)} + B$$

$$\omega D^{-1} \left(\frac{1}{\omega}DX^{(k)}\right) = \omega D^{-1} \left[-LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1\right)D - U\right)X^{(k-1)} + B \right]$$

$$\begin{aligned}
X^{(k)} &= \omega D^{-1} \left[-LX^{(k)} + \left(\frac{1}{\omega} D - D - U \right) X^{(k-1)} + B \right] \\
X^{(k)} &= -\omega D^{-1} LX^{(k)} + (1 - \omega - \omega D^{-1} U) X^{(k-1)} + \omega D^{-1} B \\
X^{(k)} &= (1 - \omega) X^{(k-1)} - \omega D^{-1} LX^{(k)} - \omega D^{-1} U X^{(k-1)} + \omega D^{-1} B \\
X^{(k)} &= (1 - \omega) X^{(k-1)} - \omega D^{-1} (LX^{(k)} + U X^{(k-1)} - B) \tag{2.15}
\end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned}
a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\
a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\
a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + \dots + a_{3n}x_n &= b_3 \\
&\vdots \\
a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + a_{n3}x_3 + \dots + a_{nn}x_n &= b_n
\end{aligned} \tag{2.16}$$

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

$$\begin{aligned}
x_1 &= \frac{1}{a_{11}} (b_1 - a_{12}x_2 - a_{13}x_3 - \dots - a_{1n}x_n) \\
x_2 &= \frac{1}{a_{22}} (b_2 - a_{21}x_1 - a_{23}x_3 - \dots - a_{2n}x_n) \\
x_3 &= \frac{1}{a_{33}} (b_3 - a_{31}x_1 - a_{32}x_2 - \dots - a_{3n}x_n) \\
&\vdots \\
x_n &= \frac{1}{a_{nn}} (b_n - a_{n1}x_1 - a_{n2}x_2 - \dots - a_{nn-1}x_{n-1})
\end{aligned} \tag{2.17}$$

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

$$x_1^1 = \frac{1}{a_{11}} (b_1 - a_{12}x_2^0 - a_{13}x_3^0 - \dots - a_{1n}x_n^0)$$

$$\begin{aligned}
x_2^1 &= \frac{1}{a_{22}}(b_2 - a_{21}x_1^1 - a_{23}x_3^0 - \cdots - a_{2n}x_n^0) \\
x_3^1 &= \frac{1}{a_{33}}(b_3 - a_{31}x_1^1 - a_{32}x_2^1 - \cdots - a_{3n}x_n^0) \\
&\vdots \\
x_n^1 &= \frac{1}{a_{nn}}(b_n - a_{n1}x_1^1 - a_{n2}x_2^1 - \cdots - a_{nn-1}x_{n-1}^1)
\end{aligned} \tag{2.18}$$

o iterasi ke-2

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

o dan seterusnya sampai langkah k .

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

$$x_i^k = \frac{1}{a_{ii}} \left(b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij}x_j^k - \sum_{j=i+1}^n a_{ij}x_j^{k-1} \right) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \tag{2.20}$$

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

$$x_i^k = (1 - \omega)x_i^{k-1} + \frac{\omega}{a_{ii}} \left(b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij}x_j^k - \sum_{j=i+1}^n a_{ij}x_j^{k-1} \right) \tag{2.21}$$

(Anton, 1987:359).

Pada Persamaan (2.15) dan Persamaan (2.21), untuk $\omega = 1$ akan diperoleh metode Gauss-Seidel. Metode Gauss-Seidel inilah yang digunakan untuk menyelesaikan sistem persamaan linier yang muncul dalam penyelesaian numerik dari persamaan diferensial parsial tertentu.

2.7.4 Galat atau *Error*

Pada komputasi numerik, hal yang harus diperhatikan adalah keakuratan penyelesaian yang diperoleh. Penyelesaian yang diperoleh dari komputasi numerik biasanya merupakan suatu hampiran, sehingga memuat galat (kesalahan numerik). Galat atau biasa disebut error dalam metode numerik adalah selisih yang ditimbulkan antara nilai eksak (nilai sejati) dengan nilai yang dihasilkan dengan metode numerik yang disebut dengan nilai hampiran (nilai aproksimasi). Dalam metode numerik, hasil yang diperoleh bukanlah hasil yang sama persis dengan nilai sejatinya. Hasil yang didapat dengan metode numerik merupakan hasil yang diperoleh dengan proses iterasi (*looping*) untuk mendekati nilai sebenarnya. Nilai galat yang kecil (mendekati nol) dapat dikatakan metode numerik yang digunakan efektif. Sebaliknya, jika nilai galat semakin besar maka metode numerik yang digunakan terdapat kesalahan.

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

1. model matematika untuk suatu fenomena alam;
2. galat bawaan dari data masukan (parameter masukan);
3. metode penyelesaian;
4. adanya pembulatan di dalam melakukan operasi-operasi jenis lain pada bilangan-bilangan terkait.

2.8 *Boiler* Pipa Air (*Water Tube Boiler*)

Boiler atau ketel uap adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan uap air (*steam*). *Steam* diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar (Yohanna dan Askhabulyamin, 2009:13). Pada umumnya bahan bakar yang digunakan untuk memanaskan *boiler* yaitu batu bara, gas dan bahan bakar minyak. *Boiler* dirancang untuk melakukan atau memindahkan kalor dari suatu sumber pembakaran yang biasanya berupa pembakaran bahan bakar. Energi panas dari uap air tersebut digunakan untuk berbagai keperluan seperti turbin uap, mesin uap dan lain-lain. Komponen-komponen utama dalam *boiler* antara lain:

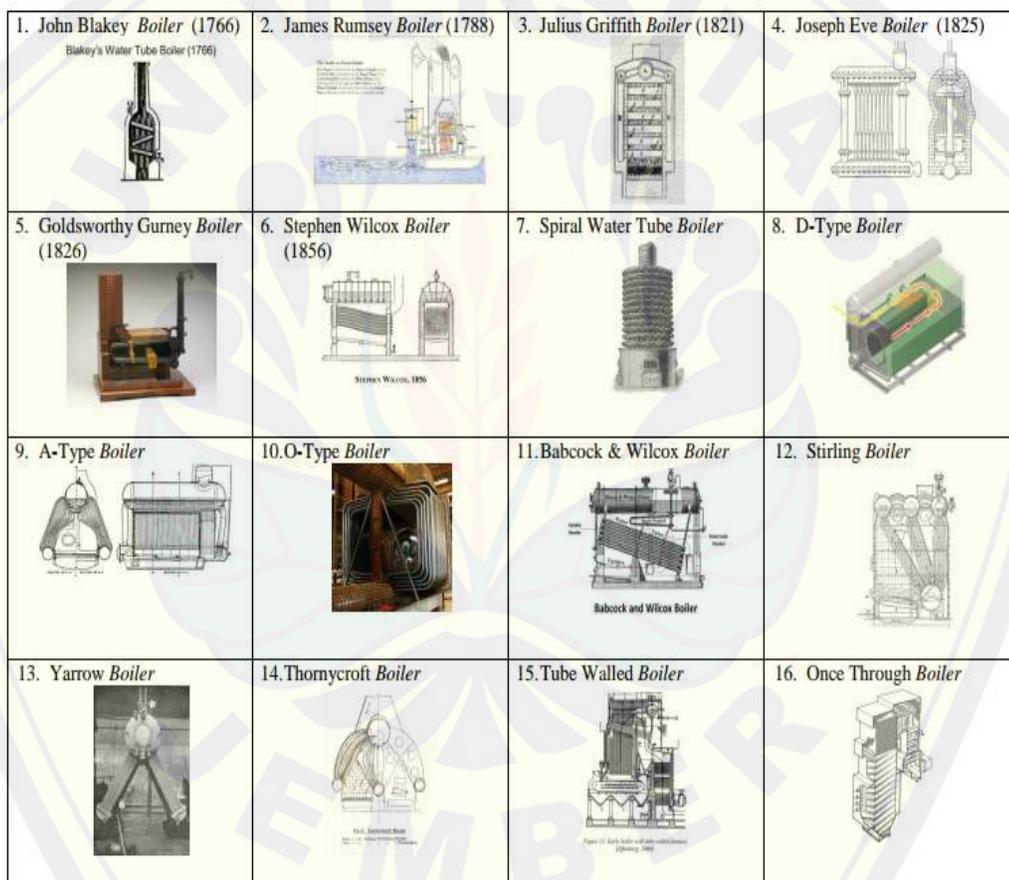
1. *Furnace* (ruang bakar) berfungsi sebagai alat untuk mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi kalor.
2. Alat penguapan (*evaporator*) berfungsi untuk mengubah energi pembakaran bahan bakar menjadi energi tekanan uap.

Kedua komponen tersebut telah dapat memungkinkan sebuah *boiler* untuk berfungsi. Pada dasarnya, *boiler* terdiri dari drum yang tertutup pada ujung pangkalnya dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan pipa api maupun pipa air. Ketel uap (*boiler*) telah mengalami banyak perkembangan dari bentuk sederhana ke bentuk yang modern. Pembuatan *Boiler* menggunakan bahan baja yang telah ditentukan dalam standart ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) terutama pada *boiler* yang digunakan di industri-industri besar.

Berdasarkan fluida yang mengalir dalam pipa, *boiler* diklasifikasikan menjadi *boiler* pipa api (*fire tube boiler*) dan *boiler* pipa air (*water tube boiler*). Pada penelitian ini, menggunakan *boiler* yang berjenis *water tube boiler*. Prinsip kerja dari *boiler* pipa air yaitu gas pembakaran dari *furnace* dilewatkan ke pipa-pipa yang berisi air yang akan diuapkan (Raharjo dan Karnowo, 2008:180). *Steam drum* merupakan salah satu karakteristik dari *water tube boiler* yang berfungsi sebagai tangki air untuk memisahkan uap air basah dengan air. Desain *water tube boiler* yang populer dilengkapi dengan pipa-pipa air yang didesain menjadi dinding ruang bakar (*wall-tube*). *Water tube boiler* memiliki desain lebih kompleks daripada *boiler* pipa api (*fire tube boiler*), sehingga *water tube boiler* lebih mampu menghasilkan kualitas uap air yang lebih tinggi. Oleh karena itu, *boiler* pipa air lebih cocok diaplikasikan pada industri besar seperti pembangkit listrik tenaga uap. Terdapat banyak variasi desain *boiler* pipa air yang dapat dilihat pada Gambar 2.12. Penelitian ini menggunakan *boiler* pipa air yang berjenis *once through* seperti pada Gambar 2.12 nomor 16. *Boiler* jenis ini terus berkembang hingga saat ini dan banyak digunakan pada industri besar seperti pembangkit listrik tenaga uap.

Cara kerja di dalam *boiler* cukup sederhana sama seperti saat proses mendidihkan air di dalam panci. Saat mendidihkan air, terjadi proses perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Sumber panas diperoleh dari pembakaran bahan bakar di dalam ruang pembakaran (*furnace*). Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini yaitu batubara. Sebelum memasuki ruang bakar,

batu bara terlebih dahulu dihaluskan sampai menjadi batubara bubuk yang kemudian bersama dengan udara masuk ke dalam ruang pembakaran *boiler*. Gas hasil pembakaran akan terus mengalir mengikuti bentuk *boiler* hingga sisi keluaran. Perpindahan panas di *furnace* terjadi secara radiasi ke pipa-pipa air sehingga dapat memanaskan pipa tersebut. Panas yang diserap oleh permukaan pipa akan berpindah secara konduksi ke sisi dalam pipa. Air yang mengalir di dalam pipa akan menyerap panas antar molekul air secara konveksi. Secara bertahap, air akan berubah menjadi uap basah hingga menjadi uap kering yang digunakan untuk memutar generator dan menggerakkan turbin pada pembangkit listrik.



Gambar 2.12 Jenis-Jenis *Water Tube Boiler*
(sumber:artikel-teknologi.com)

Pada ruang pembakaran (*furnace*) di dalam *boiler* terjadi proses pembakaran bahan bakar yang menjadi sumber panas, pipa air yang menempel pada *furnace*

akan mendapatkan panas. Terdapat tiga cara dalam proses perpindahan panas yang terjadi pada *furnace*, yaitu:

1. Konduksi, perpindahan panas terjadi karena molekul-molekul air saling bersinggungan sehingga panas akan menyebar di setiap aliran air. Rumus perpindahan panas secara konduksi adalah:

$$H = \frac{Q}{t} = \frac{kA\Delta T}{L}$$

$$Q = \frac{kAt\Delta T}{L}$$

dengan :

Q : kalor

k : koefisien konduksi termal

A : luas penampang

ΔT : perubahan suhu

L : panjang

H : kalor yang merambat persatuan waktu

t : waktu

2. Konveksi, panas mengalir melalui hantaran dari sisi pipa yang menerima panas kedalam sisi pipa yang memberi panas pada air. Laju kalor secara konveksi dapat digunakan persamaan:

$$H = \frac{Q}{t} = hA\Delta T$$

dengan :

H : laju perpindahan

h : koefisien konveksi termal

A : luas permukaan

ΔT : perubahan suhu

3. Radiasi, perpindahan panas terjadi dari api atau gas yang menempel pada dinding pipa. Besarnya kalor dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$H = \frac{Q}{t} = e\sigma AT^4$$

dengan :

Q : kalor yang dipancarkan benda

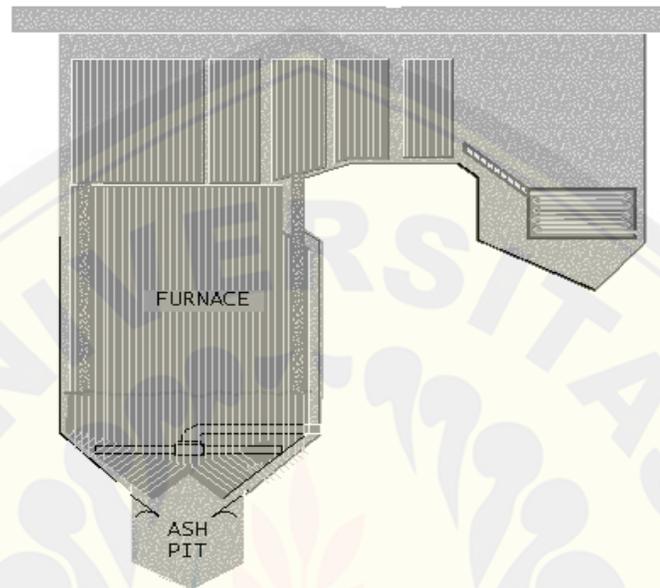
T : suhu mutlak

e : emisitas bahan

σ : tetapan stefan-Boltzman ($5,672 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$)

A : luas penampang benda

Furnace dibagi menjadi dua ruang pembakaran. Ruang pertama akan terjadi pemanasan langsung dari sumber panas yang diterima langsung oleh pipa. Sedangkan di ruang kedua, panas yang diterima berasal dari udara panas hasil pembakaran dari ruang pertama.



Gambar 2.13 *Boiler* Pada PLTU

2.9 Prinsip Pembakaran

Proses pembakaran adalah reaksi yang sangat cepat antara bahan bakar dengan oksider (udara) untuk menghasilkan produk. Udara tersusun dari 78% nitrogen, 21% oksigen dan 1% argon dan gas-gas lain. Syarat terjadinya pembakaran diperlukan tiga parameter utama yaitu adanya pemicu proses pembakaran, bahan bakar dan udara. Sedangkan untuk memperoleh pembakaran batubara yang sempurna diperlukan beberapa parameter, antara lain:

1. Temperatur tinggi, untuk memicu dan menjaga kontinuitas proses pembakaran.
2. Turbulensi aliran, untuk memaksimalkan pencampuran bahan bakar dan udara menjadi homogen.
3. Temperatur udara yang masuk, jika temperatur udara yang masuk lebih tinggi maka pembakaran akan mudah terjadi.

4. Kondisi bahan bakar, jika batu bara yang dibakar kadar airnya terlalu besar maka pembakaran akan lebih sulit terjadi.
5. Durasi atau rentang waktu, untuk membakar bahan bakar secara keseluruhan (Putra, 2015:8).

Unsur karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur yang terdapat pada batubara sangat menentukan kebutuhan udara pembakaran. Kinerja pembangkitan listrik pada PLTU sangat ditentukan oleh efisiensi panas pada proses pembakaran batubara.

2.10 TCK (*Technological Content Knowledge*)

TCK (*Technological Content Knowledge*) merupakan bagian dari TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*). TPACK mengacu pada bentuk disintesis pengetahuan yang bertujuan untuk mengintegrasikan antara teknologi pendidikan dan pembelajaran di dalam kelas. TPACK berisi tentang pengetahuan konten, pengetahuan pedagogik dan pengetahuan teknologi (Chai *et al*, 2013).

TCK (*Technological Content Knowledge*) mendiskripsikan hubungan timbal balik antara teknologi dan konten (materi) pelajaran. Teknologi berdampak pada apa yang guru ketahui dan pengenalan terhadap hal-hal baru mengenai bagaimana guru bisa menggambarkan konten (materi) dengan cara berbeda dari yang sebelumnya tidak mungkin dilakukan. Adapun bagian-bagian inti TCK, yaitu:

1. TK (*Technological Knowledge*) yaitu pengetahuan tentang cara menggunakan perangkat keras TIK, perangkat lunak, dan perangkat terkait. Pada penelitian ini, peneliti dapat mengasah kemampuan TK (*Technological Knowledge*) dengan cara penggunaan *software* MATLAB dan FLUENT untuk mencari penyelesaian dan mensimulasikan model matematika dari perpindahan panas pada *boiler*.
2. CK (*Content Knowledge*) yaitu pengetahuan tentang materi pelajaran. Pada penelitian ini, peneliti mengasah kemampuan CK (*Content Knowledge*) dengan menganalisis perpindahan panas pada *boiler* dan metode volume hingga.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Berdasarkan jenisnya, penelitian perpindahan panas pada *boiler* merupakan jenis penelitian simulasi. Penelitian simulasi merupakan penelitian yang dilakukan untuk mengetahui sebuah gambaran dari suatu sistem yang akan diterapkan manipulasi atau pengendalian untuk mendapatkan pengaruhnya yang mirip dengan keadaan sebenarnya. Pada penelitian ini, peneliti memodelkan perpindahan panas dalam *boiler* yang dipengaruhi kecepatan awal dan temperatur awal sehingga diperoleh hasil atau data-data yang mendekati keadaan sebenarnya.

3.2 Tempat Penelitian

Tempat penelitian merupakan tempat yang digunakan untuk melakukan penelitian. Pada penelitian ini, objek penelitian berada di PLTU Paiton Probolinggo. Peneliti memilih objek tersebut karena di PLTU Paiton Probolinggo menggunakan *boiler* berjenis *water tube boiler* dalam proses penguapan air sehingga menjadi tenaga listrik. Sehingga peneliti tertarik untuk meneliti proses perpindahan panas dalam *boiler* Pembangkit Listrik Tenaga Uap selama proses penguapan berlangsung.

Tempat untuk penyelesaian numerik dan pemodelan *Computational Fluid Dynamics* dilakukan di laboratorium matematika gedung III FKIP Universitas Jember dengan tersedianya sarana dan prasarana yang mendukung seperti adanya komputer yang dilengkapi dengan program MATLAB untuk penyelesaian numerik dan FLUENT untuk simulasi pemodelan serta berbagai sumber-sumber elektronik lainnya.

3.3 Definisi Operasional

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

1. Model Matematika

Model matematika adalah rumusan masalah dari kejadian dunia nyata yang disajikan dalam bentuk persamaan atau fungsi matematika. Pemodelan matematika merupakan suatu proses dimana permasalahan pada dunia nyata disajikan dalam bentuk permasalahan matematika.

2. CFD (*Computational Fluid Dynamic*)

CFD merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisis aliran fluida, perpindahan panas, transpor fenomena dan reaksi kimia dengan menggunakan model matematika.

3. *Water Tube Boiler*

Water Tube Boiler merupakan *boiler* dengan gas pembakaran yang berasal dari ruang pembakaran yang melewati pipa-pipa berisikan air yang akan diuapkan.

4. Metode Volume Hingga

Metode volume hingga merupakan suatu metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan perhitungan model matematika dengan cara membagi dan mempartisi suatu obyek menjadi beberapa bagian.

5. TCK (*Technological Content Knowledge*)

TCK merupakan pengetahuan yang dibutuhkan guru untuk mengajar dengan memadukan teknologi dan pengetahuan konten (materi) dalam pembelajaran.

3.4 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data merupakan cara-cara yang dilakukan peneliti untuk memperoleh data yang diperlukan dalam penelitian. Dalam mengumpulkan data, diperlukan metode pengumpulan data yang tepat sesuai dengan masalah dan tujuan penelitian yang diteliti. Data penelitian yang digunakan harus sesuai dengan fakta yang akan diteliti. Dalam penelitian ini, metode pengumpulan data yang digunakan adalah metode dokumentasi dan metode wawancara.

1. Metode dokumentasi

Metode dokumentasi adalah mencari data mengenai hal-hal atau variabel yang berupa catatan, transkrip, buku, surat kabar, majalah prasasti, notulen rapat, lengger, agenda dan sebagainya (Arikunto, 2006:231). Peneliti memperoleh data yang diinginkan dengan mempelajari dari buku, jurnal ilmiah serta catatan dan data-data dari internet.

2. Metode wawancara

Metode wawancara adalah metode dengan memperoleh informasi atau data penelitian dari narasumber secara langsung. Peneliti menggunakan metode wawancara dengan bertanya langsung kepada salah satu pegawai PLTU Paiton Probolinggo untuk memperoleh data sebenarnya dari *boiler* yang digunakan berupa faktor-faktor yang mempengaruhi kerja *boiler* seperti kecepatan gas yang masuk dalam *boiler*, tekanan gas, dan temperatur.

3.5 Prosedur Penelitian

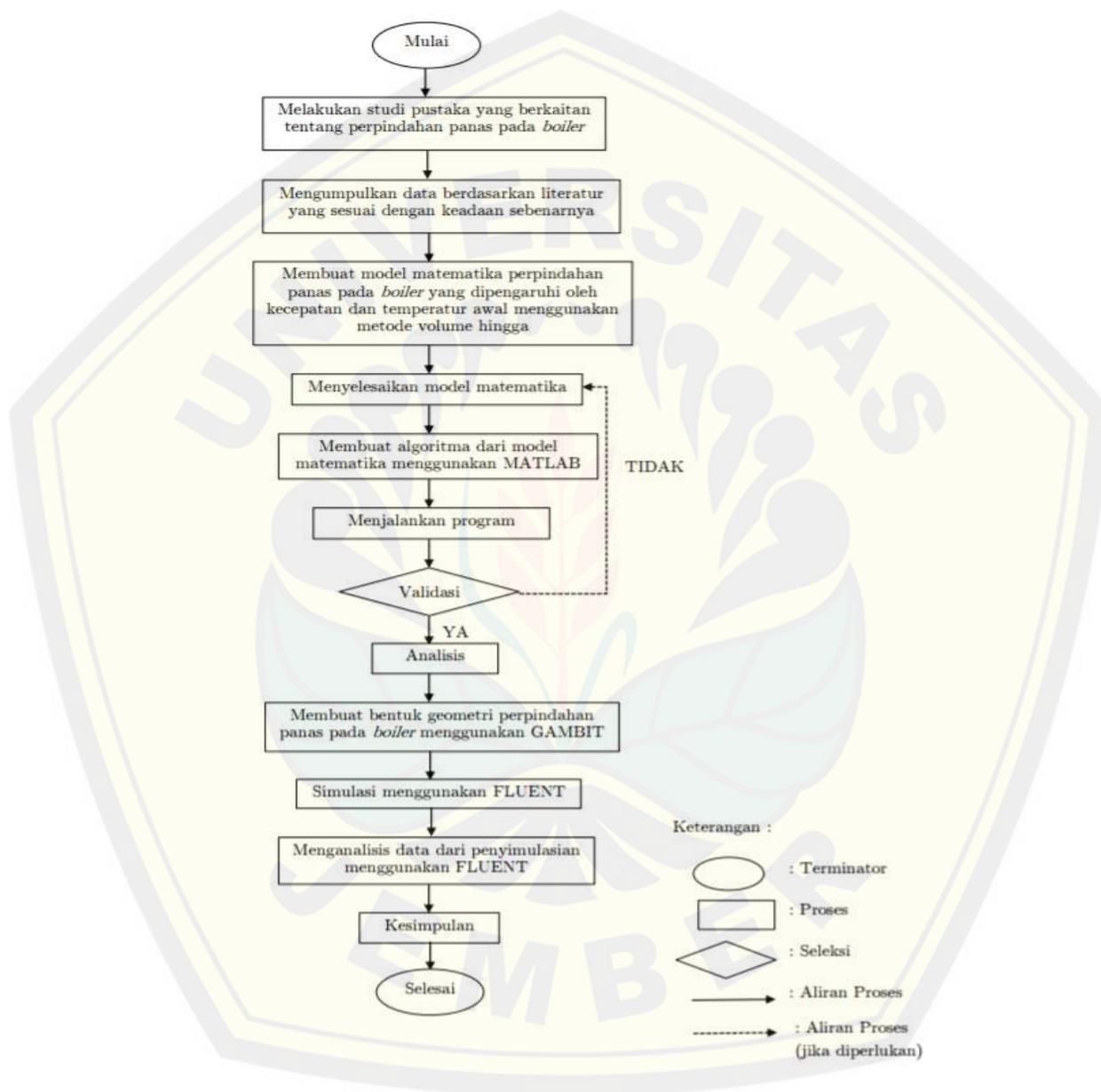
Di dalam penelitian membutuhkan prosedur penelitian sebagai suatu tahapan yang dilakukan sampai diperoleh data-data untuk dianalisis sampai menghasilkan suatu kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian. Prosedur penelitian terdiri dari rancangan penelitian dan teknik penelitian. Rancangan penelitian merupakan rencana kegiatan penelitian yang akan diteliti sebagai dasar dalam melakukan penelitian. Sedangkan teknik penelitian adalah langkah-langkah penelitian untuk memperoleh data-data yang akan dianalisis sampai menghasilkan suatu kesimpulan sesuai dengan langkah-langkah dalam menyelesaikan pemodelan matematika dengan metode numerik.

Langkah-langkah dalam penelitian ini, dapat diuraikan sebagai berikut:

1. melakukan studi pustaka yang berkaitan tentang perpindahan panas pada *boiler*;
2. mengumpulkan data berdasarkan literatur yang sesuai dengan keadaan sebenarnya;
3. membuat model matematika perpindahan panas pada *boiler* yang dipengaruhi oleh kecepatan awal dan temperatur awal menggunakan metode volume hingga;
4. menyelesaikan model matematika *boiler*;
5. membuat algoritma dari model matematika menggunakan MATLAB;
6. menjalankan program;
7. menganalisis algoritma dan keadaan perpindahan panas pada *boiler*;
8. membuat bentuk geometri dan menentukan kondisi batas perpindahan panas pada *boiler* menggunakan GAMBIT;
9. simulasi menggunakan FLUENT;

10. menganalisis data dari penyimulasian menggunakan FLUENT;
11. memberikan kesimpulan dari hasil.

Untuk lebih memahami langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.6 Data dan Analisis Data

Analisis data adalah proses penyederhanaan data ke dalam bentuk yang lebih mudah dibaca dan diinterpretasikan (Singarimbun dan Sofian, 1989:263). Pengumpulan data yang diperoleh selanjutnya diklasifikasikan secara sistematis serta diolah kemudian dianalisis secara logis sesuai dengan rancangan penelitian yang telah ditetapkan. Analisis data merupakan bagian yang sangat penting dalam sebuah penelitian untuk memperoleh suatu kesimpulan yang akurat.

Setelah mencari model matematika perpindahan panas pada *boiler*, kemudian diselesaikan menggunakan metode volume hingga. Selanjutnya, mendiskritisasi dengan teknik QUICK. Dengan metode diskritisasi QUICK didapatkan matrik yang menyatakan persamaan secara numerik yang kemudian diselesaikan menggunakan MATLAB sehingga diperoleh penyelesaian yang konvergen. Penyelesaian ini mendekati penyelesaian eksak dari persamaan diferensialnya.

Apabila perhitungan dari MATLAB terdapat *error* yang kecil dengan perhitungan sebenarnya maka hasil yang didapat sudah benar. Akan tetapi, jika hasil dari perhitungan MATLAB dengan perhitungan sebenarnya terdapat perbedaan yang signifikan, maka akan dicari kesalahan saat memodelkan dan validasi ulang dari proses penurunan rumus dan penyelesaian dengan MATLAB hingga didapatkan hasil yang benar. Batasan untuk *error* adalah 0,01. *Error* tersebut menggambarkan akurasi yang baik karena kesalahan yang terjadi hanya sebesar 1% sehingga kesalahan tersebut cukup kecil. Setelah melakukan simulasi model matematika perpindahan panas pada *boiler*, maka keakurasian model tersebut dapat ditentukan dengan menggunakan *error* relatif.

Model matematika perpindahan panas pada *boiler* dibentuk menggunakan GAMBIT. Kemudian akan disimulasikan dengan FLUENT. Hasil dari simulasi tersebut dapat dilihat gambar kontur pengaruh kecepatan awal dan temperatur awal aliran fluida terhadap perpindahan panas pada *boiler* dengan jelas, maka peneliti dapat menganalisis secara kualitatif.

Hasil penelitian digunakan untuk mengasah kemampuan TCK yang melalui dua bagian yaitu CK (*Content Knowledge*) dan TK (*Technological Knowledge*). Kemampuan CK (*Content Knowledge*) diasah melalui analisis perpindahan panas pada CK *boiler*. Kemampuan TK (*Technological Knowledge*) diasah untuk mencari penyelesaian dan simulasi model matematika perpindahan panas pada *boiler*

dengan menggunakan *software* MATLAB dan FLUENT.

3.7 Instrumen Validasi

Instrumen validasi digunakan untuk mendapatkan tingkat kevalidan dan mengasah kemampuan TCK dalam analisis model matematika perpindahan panas pada ruang pembakaran di dalam *boiler* menggunakan metode volume hingga. Instrumen validasi yang digunakan pada penelitian ini divalidasi ke mahasiswa yang sudah melakukan penelitian di bidang pemodelan.

3.8 Metode Analisis Validasi

Langkah-langkah metode analisis validasi untuk menentukan tingkat kevalidan instrumen adalah sebagai berikut.

1. Menentukan rata-rata nilai hasil validasi dari semua validator untuk setiap aspek dengan rumus:

$$I_i = \frac{\sum_{j=1}^n V_{ji}}{v}$$

Keterangan :

V_{ji} : data nilai dari validator ke- j terhadap indikator ke- i

I_i : rata-rata nilai indikator ke- i

j : validator ke-

i : indikator ke-

v : banyak validator

2. Rumus untuk menentukan rata-rata setiap aspek adalah:

$$A_k = \frac{\sum_{i=1}^n I_{ki}}{m}$$

Keterangan :

A_k : rata-rata nilai aspek ke- k

I_{ki} : rata-rata nilai untuk aspek ke- k indikator ke- i

k : aspek ke-

i : indikator ke-

m : banyak kriteria dalam aspek ke- k

3. Menentukan rata-rata total untuk semua aspek dengan rumus:

$$V_a = \frac{\sum_{k=1}^n A_k}{n}$$

Keterangan :

V_a : nilai rata-rata total semua aspek ke- k

k : aspek yang dinilai

n : banyak aspek

4. Menentukan tingkat kevalidan instrumen dengan beberapa kriteria kevalidan sesuai tabel berikut.

Tabel 3.1 Tingkat Kevalidan Instrumen

Nilai V_a	Tingkat kevalidan
$V_a = 5$	Sangat valid
$4 \leq V_a < 5$	Valid
$3 \leq V_a < 4$	Cukup valid
$2 \leq V_a < 3$	Kurang valid
$1 \leq V_a < 2$	Tidak valid

Instrumen penelitian yang mencapai tingkat valid dapat digunakan sebagai instrumen pada suatu penelitian. Jika tingkat kevalidan dibawah valid, maka perlu dilakukan revisi berdasarkan masukan dari validator yang selanjutnya dilakukan kembali validasi sampai diperoleh instrumen penelitian yang valid (Hobri, 2010:52).

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan:

1. Model matematika perpindahan panas dalam *boiler* Pembangkit Listrik Tenaga Uap merupakan persamaan yang dinyatakan pada persamaan energi dan persamaan momentum yang diselesaikan menggunakan metode volume hingga dengan teknik diskritisasi QUICK. Berikut ini adalah persamaannya.

$$\begin{aligned}
 & \phi_e \left[\rho u \Delta y \Delta t \left(1 - \frac{\rho \Delta x \Delta y}{\rho \Delta x \Delta y + \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} \right) \right] + \\
 & \phi_w \left[\rho u \Delta y \Delta t \left(\frac{\rho \Delta x \Delta y}{\rho \Delta x \Delta y + \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} - 1 \right) \right] + \\
 & \phi_n \left[\rho v \Delta x \Delta t \left(1 - \frac{\rho \Delta x \Delta y}{\rho \Delta x \Delta y + \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} \right) \right] + \\
 & \phi_s \left[\rho v \Delta x \Delta t \left(\frac{\rho \Delta x \Delta y}{\rho \Delta x \Delta y + \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} - 1 \right) \right] = \\
 & \mu_{eff} \Delta t \left(\frac{u \Delta y}{\Delta x} + v + u + \frac{v \Delta x}{\Delta y} \right) - P(\Delta y \Delta t + \Delta x \Delta t) - \\
 & \frac{2}{3} \rho k (\Delta y \Delta t + \Delta x \Delta t) + \rho g (\Delta y \Delta t + \Delta x \Delta t) + \\
 & f(\Delta y \Delta t + \Delta x \Delta t) - \frac{\rho T \lambda_{eff} \Delta t \left((\Delta y)^2 + (\Delta x)^2 \Delta y \right)}{mc \left(\rho \Delta x \Delta y + \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} \right)} \quad (5.1)
 \end{aligned}$$

2. Hasil simulasi MATLAB dan FLUENT menunjukkan temperatur maksimum di dalam *boiler* pada kecepatan awal sebesar 20 m/s, 22 m/s, dan 24 m/s berturut-turut sebesar 979.9⁰C, 1289⁰C, dan 1469⁰C. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan awal maka temperatur di dalam *boiler* semakin meningkat.
3. Hasil simulasi MATLAB dan FLUENT menunjukkan temperatur maksi-

mum di dalam *boiler* pada temperatur awal sebesar $258^{\circ}C$, $260^{\circ}C$, dan $262^{\circ}C$ berturut-turut sebesar $1174^{\circ}C$, $1376^{\circ}C$, dan $1543^{\circ}C$.

4. Metode volume hingga merupakan metode yang efektif untuk menganalisis perpindahan panas dalam *boiler* Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan tingkat kesalahan perhitungan *error relatif* kurang dari 0.01.
5. Hasil validasi diperoleh nilai 4.65 menunjukkan penelitian ini valid untuk mengasah kemampuan TCK peneliti melalui analisis model matematika perpindahan panas dalam *boiler* pemangkit listrik tenaga uap menggunakan metode volume hingga.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai perpindahan panas dalam *boiler* Pembangkit Listrik Tenaga Uap:

1. Pemodelan perpindahan panas dalam *boiler* Pembangkit Listrik Tenaga Uap dapat dikembangkan lagi dengan metode lain.
2. Perlu diadakan penelitian lanjutan mengenai faktor lain yang berpengaruh.
3. Pada simulasi perpindahan panas dalam *boiler* Pembangkit Listrik Tenaga Uap dapat dilakukan dengan bantuan *software* simulasi selain MATLAB dan FLUENT.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Kindi, Hablinur. 2015. *Analisis Computational Fluid Dynamics (CFD) Aliran Udara Panas Pada Pengering Tipe Rak Dengan Sumber Energi Gas Buang*. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Anton, Howard. 1987. *Aljabar Linier Elementer*. Jakarta: Erlangga.
- Aprianto, Dody Dwi., *et al.* 2014. Analisis Aliran Udara Pada Jembatan Suramadu Dengan Menggunakan Metode Volume Hingga. *Kadikma*. No.3, Vol.5, Hal 118.
- Arhami, Muhammad dan Anita Desiani. 2005. *Pemrograman MATLAB*. Yogyakarta: Andi.
- Away, A. 2010. *Matlab Programming*. Bandung: Informatika Bandung.
- Arikunto, Suharsimi. 2006. *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktek*. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- Centeno-Gonzales, F.O., *et al.* 2017. CFD Modeling of Combustion of Sugarcane Bagasse in an Industrial Boiler. *Fuel*. 193, Hal 31-38.
- Chai, *et al.* 2013. A Review of technological Pedagogical Content Knowledge. *Educational Technology and Society*. No.16, Vol.2, Hal 31-33.
- Fatahillah, Arif. 2011. *Mathematical Modeling Computational Fluid Dynamics*. Jember: FKIP UNEJ.
- Fatahillah, Arif. 2014. Analisi Numerik Profil Sedimentasi Pasir Pada Pertemuan Dua Sungai Berbantuan Software Fluent. *Kadikma*. No.3, Vol.5, Hal 35-40.

- Fitria, Vivi Aida. 2011. Model Matematika Terhadap Penyebaran Penyakit Tuberkulosis di Rumah Sakit Paru Batu. *Jurnal JITIKA*. No.2, Vol. 5, Hal 62.
- Ghurri, Ainul. 2014. *Dasar-Dasar Mekanika Fluida*. Bali: Jurusan Teknik Mesin - Universitas Udayana.
- Hobri. 2010. *Metodologi Penelitian Pengembangan (Aplikasi pada Penelitian Pendidikan Matematika)*. Jember: Pena Salsabila.
- Jufrianto, *et al.* 2014. Simulasi CFD Ang Storage dengan Metana Sebagai Adsorbat dan Karbon Aktif Sebagai Adsorbennya. *Jom FTEKNIK*. No.2, Vol.1, Hal 4.
- Nurjanah, Arifta dan Hajarul M,H,R. 2017. Pemodelan Matematika Solusi Mewujudkan Generasi Melek Matematika. *Jurnal Seminar Matematika dan Pendidikan Matematika*. ISBN 978-602-73403-2-9, Hal 142.
- Parlaungan. 2008. *Pemodelan Matematika untuk Peningkatan Bermatematika Siswa Sekolah Menengah Atas (SMA)*.
- Putra, Aditya Primadi. 2015. *Studi Numerik Karakteristik Pembakaran Batubara Dengan Variasi Laju Aliran Massa Swirl Air dan Panjang Dimensi Extension Pipe Pada Rancangan Start Up Burner*. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin ITS.
- Raharjo W. D dan Karnowo. 2008. *Mesin Konversi Energi*. Semarang: Universitas Negeri Semarang Press.
- Sahid. 2004. *Petunjuk Praktikum Aplikasi Komputer dengan Matlab (Edisi Revisi)*. Bandung: Informatika Bandung.
- Sahid. 2005. *Pengantar Komputasi Numerik dengan MATLAB*. Yogyakarta: Andi.

- Sahyar. 2016. *Algoritma dan Pemrograman menggunakan MATLAB* (Matrix Laboratory). Jakarta: Kencana.
- Samosir, Ken Kevin dan Masykur. (Mei, 2014). *Perbandingan Metode Fast-Decouple dan Metode Gauss-Seidell dalam Solusi Aliran Daya Sistem Distribusi 20KV dengan Menggunakan Etap Power Station dan MATLAB*. Singguda Ensikom, No. 2, Vol. 7, Hal 55-60.
- Saptaningtyas, Fitriana Yuli. 2010. Metode Volume Hingga Untuk Mengetahui Pengaruh Sudut Pertemuan Saluran Terhadap Profil Perubahan Sedimen Pasir Pertemuan Sungai. *Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika*.
- Setiawan, Hem. 2008. *Matematika Terapan dan Pemodelan*. Surabaya: Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS.
- Simanjuntak, H,F,P., *et al* 2017. Analisa Pengaruh Panjang, Letak dan Geometri Lunas Bilga Terhadap Arah dan Kecepatan Aliran *Wake* Pada Kapal Ikan Tradisiol (Studi Kasus Kapal Tipe Kragan). *Jurnal Teknik Perkapalan*. No.1, Vol.5, Hal 346.
- Singarimbun, Masri dan Sofian Efendi. 1989. *Metode Penelitian Survei*. Jakarta: LP3S.
- Tuakia, F. 2008. *Dasar-dasar CFD Menggunakan Fluent*. Bandung: Informatika
- Versteeg HK,W Malalasekera. 1995. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics The Finite Volume Method*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- White, Frank M. 1986. *Mekanika Fluida*. Jakarta: Erlangga

Widodo, PS., *et al.* 2018. Analisis Computational Fluid Dynamics Suhu Permukaan Panel Surya Akibat Pengaruh Intensitas Radiasi Matahari, Kecepatan Angin dan Suhu Udara. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. No.1, Vol. 10, Hal 57-59.

Zerlis, Muhammad. 2008. *Prinsip Pemodelan Matematika*. Medan: Universitas Sumatera Utara.



LAMPIRAN

LAMPIRAN A. Matrik Penelitian

Judul	Rumusan Masalah	Variabel	Indikator	Sumber Data	Jenis Penelitian
Analisis Model Matematika Perpindahan Panas Dalam Boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap Menggunakan Metode Volume Hingga Untuk Mengasah <i>Technological Content Knowledge</i>	<p>1. Bagaimana model matematika perpindahan panas dalam boiler pembangkit listrik tenaga uap?</p> <p>2. Bagaimana pengaruh kecepatan awal terhadap proses perpindahan panas dalam boiler pembangkit listrik tenaga uap?</p> <p>3. Bagaimana pengaruh temperatur awal terhadap proses perpindahan panas dalam boiler pembangkit listrik tenaga uap?</p>	<p>1. Perpindahan Panas Pada <i>Boiler</i></p> <p>2. Kecepatan dan Temperatur Awal</p> <p>2. Metode Volume Hingga</p> <p>3. <i>Technological Content Knowledge</i></p>	<p>1. Menentukan model matematika perpindahan panas dalam boiler pembangkit listrik tenaga uap.</p> <p>2. Mengetahui pengaruh kecepatan awal terhadap proses perpindahan panas dalam boiler pembangkit listrik tenaga uap.</p> <p>3. Mengetahui pengaruh temperatur awal terhadap proses perpindahan panas dalam boiler pembangkit listrik tenaga uap.</p>	<p>1. F.O. Centeno-Gonzales., <i>et al.</i> 2017. CFD modeling of combustion of sugarcane bagasse in an industrial boiler. <i>Fuel</i>, 193, 31-38.</p> <p>2. Maakala, V., <i>et al.</i> 2018. Computational Fluid Dynamic Modelling and Experimental Validation of Heat Transfer and Fluid in the Recovery Boiler Superheater Region. <i>Applied Thermal Engineering</i></p>	Simulasi

Judul	Rumusan Masalah	Variabel	Indikator	Sumber Data	Jenis Penelitian
	<p>4. Bagaimana efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis perpindahan panas dalam boiler pembangkit listrik tenaga uap?</p> <p>5. Bagaimana kevalidan untuk mengasah TCK melalui analisis model matematika perpindahan panas dalam boiler pembangkit listrik tenaga uap menggunakan metode volume hingga?</p>		<p>4. Mengetahui efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis perpindahan panas dalam boiler pembangkit listrik tenaga uap.</p> <p>5. Mengetahui kevalidan untuk mengasah TCK melalui analisis model matematika perpindahan panas dalam boiler pembangkit listrik tenaga uap menggunakan metode volume hingga.</p>	<p>3. Kepustakaan</p> <p>4. Wawancara</p>	

LAMPIRAN B. SURAT IJIN PENELITIAN

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS JEMBER

FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

Jalan Kalimantan Nomor 37 Kampus Bumi Tegalboto Jember 68121
Telepon: (0331)- 330224, 334267, 337422, 333147 • Faksimile: 0331-339029
Laman: www.fkip.umj.ac.idNomor : 1990/UN25.L.5/L.T/2019
Lampiran : -
Hal : Permohonan Izin Penelitian

13 MAR 2019

- Yth
1. General Manager PT. PJB UP Paiton Probolinggo
 2. General Manager PT. JAWA POWER Probolinggo
 3. General Manager PT. Paiton Energy Probolinggo

Diberitahukan dengan hormat, bahwa mahasiswa FKIP Universitas Jember di bawah ini:

Nama : Rismawatus Syahroh
NIM : 150210101008
Jurusan : Pendidikan MIPA
Program Studi : Pendidikan Matematika

Berkenaan dengan penyelesaian studinya, mahasiswa tersebut bermaksud melaksanakan penelitian di instansi yang Saudara pimpin dengan judul "Analisis Model Matematika Perpindahan Panas dalam Boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap Menggunakan Metode Volume Hingga untuk Mengasah *Technological Content Knowledge*". Sehubungan dengan hal tersebut, mohon Saudara berkenan memberikan izin dan sekaligus memberikan bantuan informasi yang diperlukan.

Demikian permohonan ini kami sampaikan atas perhatian dan kerjasama yang baik kami sampaikan terima kasih.

a.n. Dekan
Wakil Dekan I,

Prof. Dr. Suratno, M.Si
NIP. 196706251992031003

LAMPIRAN C. SURAT BALASAN PENELITIAN



Nomor : R058335
 Sifat : Biasa
 Lampiran : 1 (satu) berkas

Paiton, 29 Maret 2019

Kepada

Yth. Wakil Dekan I Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
 Universitas Jember
 Jl. Kalimantan No. 37
 Kampus Bumi Tegalboto - Jember
 Telp & Fax : (0331) 334988

Perihal : Persetujuan Ijin Penelitian Universitas Jember an Rismawatus Syahroh

Menindaklanjuti surat dari Universitas Jember Perihal: Permohonan Ijin Penelitian dengan Nomor 1990/UN25.1.5/LT/2019. Sehubungan dengan perihal tersebut, maka dengan ini kami sampaikan bahwa pada dakamnya kami dapat menerima permohonan mahasiswa Saudara atas nama :

No.	Nama	Judul Penelitian	Pembimbing
1.	Rismawatus Syahroh	Analisis Model Matematika Perpindahan Panas dalam Boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap menggunakan metode Volume hingga untuk mengasah Technological Content Knowledge	Erwan Ari

Untuk melaksanakan Penelitian di PT PJB Unit Pembangkitan Paiton untuk pelaksanaan pada tanggal 04 - 05 April 2019 di Bidang Randal Operasi, setelah memenuhi persyaratan terlampir.

Sesuai dengan kebijakan perusahaan tentang "PJB Bersih", mohon untuk tidak memberikan souvenir, cinderamata ataupun bingkisan terkait pelaksanaan PKU/Magang.

Demikian atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih



PT PJB UNIT PEMBANGKITAN PAITON

Jl. Raya Surabaya - Situbondo KM. 142 Paiton, Probolinggo 67291 - Indonesia
 ☎ : (02-335) 771805 (Hunting) Fx. : (02-335) 771816 E-mail : upln@plpjb.com

LAMPIRAN D. PEDOMAN WAWANCARA

PEDOMAN WAWANCARA

NAMA :

No	Pertanyaan	Jawaban
1	Jenis bahan bakar apa yang digunakan dalam PLTU ?	
2	Berapa suhu udara yang masuk dalam boiler PLTU ?	
3	Berapa besar tekanan dalam boiler PLTU?	
4	Berapa suhu maksimal di dalam boiler saat proses pembakaran berlangsung?	

LAMPIRAN E. HASIL WAWANCARA

HASIL WAWANCARA

NAMA : Bapak Ervan Ari

No	Pertanyaan	Jawaban
1	Jenis bahan bakar apa yang digunakan dalam PLTU ?	Batu bara
2	Berapa suhu udara yang masuk dalam boiler PLTU ?	256 ⁰ C
3	Berapa besar tekanan dalam boiler PLTU?	-79.04 Pa
4	Berapa suhu maksimal di dalam boiler saat proses pembakaran berlangsung?	1700 ⁰ C

LAMPIRAN F. FORMAT *PROGRAMMING* MATLABF.1 Format *Programming* Simulasi Perpindahan Panas dalam *Boiler* PLTU Berdasarkan Kecepatan Awal Menggunakan Metode Gauss Seidel

```

clear all;
clc;
disp('-----');
disp('      SIMULASI PERPINDAHAN PANAS DALAM BOILER PLTU      ');
disp('      BERDASARKAN KECEPATANS AWAL MENGGUNAKAN      ');
disp('      METODE GAUSS SEIDEL      ');
disp('      Oleh : Rismawatus Syahroh      ');
disp('      NIM 150210101008      ');
disp('-----');
%TAHAP INPUT
m=input('masukkan banyak diskritisasi arah sumbu x= ');
n=input('masukkan banyak diskritisasi arah sumbu y= ');
u1=input('kecepatan awal 1 (m/s) = ');
u2=input('kecepatan awal 2 (m/s) = ');
tol=input('masukkan batas toleransi = ');
N=input('masukkan iterasi maksimum = ');
du=(u2-u1)/2;
for i=1:m*n;
    k=1:1;
    X0(i,k)=input(['Tebakan awal X (',num2str(i),':',num2str(k),')=']);
end
%TAHAP INISIALISASI
delx=1.09508;
dely=0.199099;
delt=0.09;
rho=1.293;           %massa jenis udara (kg/m^3)
p=-79.04;           %tekanan dalam furnace (Pa)
miu=0.017*(10^(-3)); %viskositas udara

```

```

lamb=0.026;           %konduktivitas termal (W/m C)
T=256;               %suhu (C)
ms=10;               %massa fluida
c=1000;              %kalor jenis udara (J/kgC)
u=4.8;               %kecepatan sumbu x
v=1.7;               %kecepatan sumbu y
ek=0.026;            %energi kinetik turbulen (m^2/s^2)
g=10;                %gaya gravitasi
t=5;                 %waktu (s)
Xall_plot=[];
for ui=u1:du:u2;     %kecepatan awal
    f=ms*ui/t;       %gaya terhadap arah sumbu x dan y
    X_all=[];
%TAHAP PENDEFINISIAN MATRIK
A=1/8*((rho*u*dely*delt)-((rho^2)*u*(dely^2)*delx*delt)/
    ((rho*delx*dely)+(dely*delt/delx)+(delx*delt/dely)));
B=7/8*(((rho^2)*u*(dely^2)*delx*delt)/((rho*delx*dely)+
    (dely*delt/delx)+(delx*delt/dely))-((rho*u*dely*delt)));
C=3/8*((rho*u*dely*delt)-((rho^2)*u*(dely^2)*delx*delt)/
    ((rho*delx*dely)+(dely*delt/delx)+(delx*delt/dely))+
    ((rho*v*delx*delt)-((rho^2)*v*(delx^2)*dely*delt)/
    ((rho*delx*dely)+(dely*delt/delx)+(delx*delt/dely))));
D=3/8*((rho*u*dely*delt)-((rho^2)*u*(dely^2)*delx*delt)/
    ((rho*delx*dely)+(dely*delt/delx)+(delx*delt/dely)));
E=1/8*((rho*v*delx*delt)-((rho^2)*v*(delx^2)*dely*delt)/
    ((rho*delx*dely)+(dely*delt/delx)+(delx*delt/dely)));
F=7/8*(((rho^2)*v*(delx^2)*dely*delt)/((rho*delx*dely)+
    (dely*delt/delx)+(delx*delt/dely))-((rho*v*delx*delt)));
G=3/8*((rho*v*delx*delt)-((rho^2)*v*(delx^2)*dely*delt)/
    ((rho*delx*dely)+(dely*delt/delx)+(delx*delt/dely)));
H=miu*delt*((u/delx)*dely+v+u+(v/dely)*delx)-(p*delt)*(dely+delx)-
    (((2/3)*rho*ek*delt)*(dely-delx)+(rho*g*delt)*(dely+delx)+
    (f*delt)*(dely+delx)+(rho*lamb*(T*((dely^2)*delt+((delx^2)*dely*

```

```

delt)))/ms*c*(rho*delx*dely+(dely*delt/delx)+(delx*delt/dely));
%TAHAP PEMBANGUNAN MATRIK
K=zeros(m*n:m*n);
%pendefinisian untuk i-2,j
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;
%pendefinisian untuk i-1,j
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;
%pendefinisian untuk i,j
K(1:m*n+1:m^2*n^2)=C;
%pendefinisian untuk i+1,j
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;
%pendefinisian untuk i,j-2
K(m*2+1:m*n+1:m^2*n*(n-2))=E;
%pendefinisian untuk i,j-1
K(m+1:m*n+1:m^2*n*(n-1))=F;
%pendefinisian untuk i,j+1
K(m^2*n+1:m*n+1:m^2*n^2-m)=G; K
%pendefinisian konstanta
L(1:(m*n),1)=H;
%PENGGERJAAN MATRIKS
R=length(L);
X1=X0;
for k=1:N
    for i=1:m*n;
S=L(i)-K(i,1:i-1)*X1(1:i-1)-K(i,i+1:m*n)*X0(i+1:m*n);
X1(i)=S/K(i,i);
    end
    e=abs(X1-X0);
    error=norm(e);

```

```
reeller=error/(norm(X1)+eps);
X0=X1;
if(error<tol)|(reeller<tol)
    break
end
end
disp(['besarnya error= ',num2str(error)]);
disp(['besarnya relatif error= ',num2str(reeller)]);
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('Temperatur (C)')
title('SIMULASI PERPINDAHAN PANAS DALAM BOILER PLTU')
legend(strcat('kecepatan awal=',num2str((u1:du:u2)'), 'm/s'),0);
grid on;
hold on;
disp('Gauss-Seidel method converged');
```

F.2 Format *Programming* Simulasi Perpindahan Panas dalam *Boiler* PLTU Berdasarkan Temperatur Awal Menggunakan Metode Gauss Seidel

```

clear all;
clc;
disp('-----');
disp('      SIMULASI PERPINDAHAN PANAS DALAM BOILER PLTU      ');
disp('      BERDASARKAN TEMPERATUR AWAL MENGGUNAKAN      ');
disp('      METODE GAUSS SEIDEL      ');
disp('      Oleh : Rismawatus Syahroh      ');
disp('      NIM 150210101008      ');
disp('-----');
%TAHAP INPUT
m=input('masukkan banyak diskritisasi arah sumbu x= ');
n=input('masukkan banyak diskritisasi arah sumbu y= ');
t1=input('temperatur awal 1 (C) = ');
t2=input('temperatur awal 2 (C) = ');
tol=input('masukkan batas toleransi = ');
N=input('masukkan iterasi maksimum = ');
dt=(t2-t1)/2;
for i=1:m*n;
    k=1:1;
    X0(i,k)=input(['Tebakan awal X (',num2str(i),':',num2str(k),')=']);
end
%TAHAP INISIALISASI
delx=1.0957;
dely=0.1995;
delt=0.099;
rho=1.293;           %massa jenis udara (kg/m^3)
p=-79.04;           %tekanan dalam furnace (Pa)
miu=0.017*(10^(-3)); %viskositas udara
lamb=0.026;         %konduktivitas termal (W/m C)
ms=10;              %massa fluida

```

```

c=1000;           %kalor jenis udara (J/kgC)
u=4.8;           %kecepatan sumbu x
v=1.7;           %kecepatan sumbu y
ek=0.026;        %energi kinetik turbulen (m^2/s^2)
ui=20;           %kecepatan awal (m/s)
f=ms*ui/t;       %gaya terhadap arah sumbu x dan y
g=10;            %gaya gravitasi
t=5;             %waktu (s)
Xall_plot=[];
for ti=t1:dt:t2; %temperatur awal
    X_all=[];
%TAHAP PENDEFINISIAN MATRIK
A=1/8*((rho*u*dely*delt)-((rho^2)*u*(dely^2)*delx*delt)/
    ((rho*delx*dely)+(dely*delt/delx)+(delx*delt/dely)));
B=7/8*(((rho^2)*u*(dely^2)*delx*delt)/((rho*delx*dely)+
    (dely*delt/delx)+(delx*delt/dely))-(rho*u*dely*delt));
C=3/8*((rho*u*dely*delt)-((rho^2)*u*(dely^2)*delx*delt)/
    ((rho*delx*dely)+(dely*delt/delx)+(delx*delt/dely))+
    ((rho*v*delx*delt)-((rho^2)*v*(delx^2)*dely*delt)/
    ((rho*delx*dely)+(dely*delt/delx)+(delx*delt/dely))));
D=3/8*((rho*u*dely*delt)-((rho^2)*u*(dely^2)*delx*delt)/
    ((rho*delx*dely)+(dely*delt/delx)+(delx*delt/dely)));
E=1/8*((rho*v*delx*delt)-((rho^2)*v*(delx^2)*dely*delt)/
    ((rho*delx*dely)+(dely*delt/delx)+(delx*delt/dely)));
F=7/8*(((rho^2)*v*(delx^2)*dely*delt)/((rho*delx*dely)+
    (dely*delt/delx)+(delx*delt/dely))-(rho*v*delx*delt));
G=3/8*((rho*v*delx*delt)-((rho^2)*v*(delx^2)*dely*delt)/
    ((rho*delx*dely)+(dely*delt/delx)+(delx*delt/dely)));
H=miu*delt*((u/delx)*dely+v+u+(v/dely)*delx)-(p*delt)*(dely+delx)-
    (((2/3)*rho*ek*delt)*(dely-delx)+(rho*g*delt)*(dely+delx)+
    (f*delt)*(dely+delx)+(rho*lamb*(ti*((dely^2)*delt+((delx^2)*dely*
    delt)))/ms*c*(rho*delx*dely+(dely*delt/delx)+(delx*delt/dely)));
%TAHAP PEMBANGUNAN MATRIK

```

```

K=zeros(m*n:m*n);
%pendefinisian untuk i-2,j
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;
%pendefinisian untuk i-1,j
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;
%pendefinisian untuk i,j
K(1:m*n+1:m^2*n^2)=C;
%pendefinisian untuk i+1,j
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;
%pendefinisian untuk i,j-2
K(m*2+1:m*n+1:m^2*n*(n-2))=E;
%pendefinisian untuk i,j-1
K(m+1:m*n+1:m^2*n*(n-1))=F;
%pendefinisian untuk i,j+1
K(m^2*n+1:m*n+1:m^2*n^2-m)=G; K
%pendefinisian konstanta
L(1:(m*n),1)=H;
%PENGGERJAAN MATRIKS
R=length(L);
X1=X0;
for k=1:N
    for i=1:m*n;
S=L(i)-K(i,1:i-1)*X1(1:i-1)-K(i,i+1:m*n)*X0(i+1:m*n);
X1(i)=S/K(i,i);
    end
    e=abs(X1-X0);
    error=norm(e);
    reller=error/(norm(X1)+eps);
    X0=X1;

```

```
if(error<tol)|(reller<tol)
    break
end
end
disp(['besarnya error= ',num2str(error)]);
disp(['besarnya relatif error= ',num2str(reller)]);
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('Temperatur (C)')
title('SIMULASI PERPINDAHAN PANAS DALAM BOILER PLTU')
legend(strcat('temperatur awal=',num2str((t1:dt:t2)'),'C'),0);
grid on;
hold on;
disp('Gauss-Seidel method converged');
```

LAMPIRAN G.HASIL SIMULASI PROGRAM MATLAB

G.1 Simulasi Perpindahan Panas dalam *Boiler* PLTU Berdasarkan Kecepatan Awal Menggunakan Metode Gauss Seidel

Tabel hasil simulasi perpindahan panas dalam *boiler* dengan kecepatan awal 20 m/s, 22 m/s, dan 24 m/s

Titik ke-	20 m/s	22 m/s	24 m/s
1	261.8	265.8	271.5
2	437.5	444.4	456.1
3	531.4	540.3	558.3
4	578.6	589.1	614.4
5	602.2	614.3	648.6
6	614.4	628.4	673.8
7	621.3	637.9	696.5
8	626.1	645.8	720
9	630.2	654	745.9
10	634.5	663.3	775.1
11	639.5	674.5	807.8
12	645.4	688.1	844.2
13	652.6	704.4	884
14	661.4	724	926.9
15	671.9	747.1	972.6
16	684.6	774.3	1021
17	699.7	805.9	1071
18	717.5	842.2	1122
19	738.3	883.4	1173
20	762.4	929.7	1225
21	789.9	980.9	1276
22	820.5	1037	1325
23	853.8	1095	1371
24	888.7	1155	1413
25	922.3	1155	1446
26	952.8	1261	1469
27	966.4	1283	1464
28	979.9	1289	1442
29	878.8	1149	1271

G.2 Simulasi Perpindahan Panas dalam *Boiler* PLTU Berdasarkan Temperatur Awal Menggunakan Metode Gauss Seidel

Tabel hasil simulasi perpindahan panas dalam *boiler* dengan temperatur awal $258^{\circ}C$, $260^{\circ}C$, dan $262^{\circ}C$

Titik ke-	$258^{\circ}C$	$260^{\circ}C$	$262^{\circ}C$
1	263.6	264.9	268.2
2	440.8	443.1	450.8
3	535.7	538.9	552.3
4	583.7	587.7	608.6
5	607.9	613	643.4
6	620.9	627.3	669.6
7	628.7	636.9	693.7
8	634.6	645.2	718.9
9	640.2	653.9	746.9
10	646.4	663.9	778.6
11	653.7	676.1	814.2
12	662.7	690.8	853.7
13	673.7	708.7	897.1
14	687.2	730.3	944.1
15	703.6	756	994.1
16	723.4	786.3	1047
17	746.9	821.7	1102
18	774.8	862.5	1158
19	807.4	909.1	1215
20	844.9	961.6	1271
21	887.5	1020	1328
22	935	1084	1382
23	986.5	1151	1433
24	1040	1220	1480
25	1092	1286	1518
26	1138	1342	1543
27	1162	1370	1539
28	1174	1376	1514
29	1050	1226	1334

LAMPIRAN H.HASIL PERHITUNGAN *ERROR RELATIF*H.1 Hasil Perhitungan *Error Relatif* Perpindahan Panas dalam *Boiler* PLTU Berdasarkan Kecepatan Awal Menggunakan Metode Gauss Seidel

Iterasi ke-	Nilai Numerik	<i>Error</i>
1	271.5	-
2	456.1	184.6
3	558.3	102.2
4	614.4	56.1
5	648.6	34.2
6	673.8	25.2
7	696.5	22.7
8	720	23.5
9	745.9	25.9
10	775.1	29.2
11	807.8	32.7
12	844.2	36.4
13	884	39.8
14	926.9	42.9
15	972.6	45.7
16	1021	48.4
17	1071	50
18	1122	51
19	1173	51
20	1225	52
21	1276	51
22	1325	49
23	1371	46
24	1413	42
25	1446	33
26	1469	23
27	1464	5
28	1442	22
29	1271	171

$$error\ relatif = \left| \frac{X_0 - X_i}{X_i} \right| = \left| \frac{1260 - 1271}{1271} \right| = 0.0086546$$

dengan

X_0 = tebakan awal

X_i = nilai numerik

H.2 Hasil Perhitungan *Error Relatif* Perpindahan Panas dalam *Boiler* PLTU Berdasarkan Temperatur Awal Menggunakan Metode Gauss Seidel

Iterasi ke-	Nilai Numerik	<i>Error</i>
1	268.2	-
2	450.8	182.6
3	552.3	101.5
4	608.6	56.3
5	643.4	34.8
6	669.6	36.2
7	693.7	24.1
8	718.9	25.2
9	746.9	28
10	778.6	31.7
11	814.2	35.6
12	853.7	39.5
13	897.1	43.4
14	944.1	47
15	994.1	50
16	1047	52.9
17	1102	55
18	1158	56
19	1215	57
20	1271	56
21	1328	57
22	1382	54
23	1433	51
24	1480	47
25	1518	38
26	1543	25
27	1539	4
28	1514	25
29	1334	180

$$error\ relatif = \left| \frac{X_0 - X_i}{X_i} \right| = \left| \frac{1322 - 1334}{1334} \right| = 0.0089955$$

dengan

X_0 = tebakan awal

X_i = nilai numerik

LAMPIRAN I. PEDOMAN VALIDASI

**PEDOMAN VALIDASI
TUGAS AKHIR SARJANA PENDIDIKAN MATEMATIKA**

NAMA MAHASISWA : RISMAWATUS SYAHROH
 NIM : 150210101008
 JUDUL SKRIPSI : ANALISIS MODEL MATEMATIKA
 PERPINDAHAN PANAS DALAM *BOILER*
 PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP
 MENGGUNAKAN METODE VOLUME HINGGA
 UNTUK MENGASAH *TECHNOLOGICAL
 CONTENT KNOWLEDGE*

Petunjuk!

- a) Berilah tanda (✓) dalam kolom penilaian yang sesuai menurut pendapat Anda.
- b) Keterangan:
 - 1: peneliti TIDAK MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan;
 - 2: peneliti KURANG MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan;
 - 3: peneliti CUKUP MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan;
 - 4: peneliti MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan;
 - 5: peneliti SANGAT MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan.

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK (<i>Content Knowledge</i>)	Peneliti memiliki pengetahuan cukup tentang perpindahan panas dalam <i>boiler</i> menggunakan metode volume hingga.					
	Peneliti dapat menentukan variabel keadaan yang diteliti					

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK (<i>Content Knowledge</i>)	Peneliti dapat mengembangkan model matematika perpindahan panas dalam <i>boiler</i> .					
	Peneliti dapat menyelesaikan model matematika perpindahan panas dalam <i>boiler</i> .					
	Peneliti dapat menganalisis hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.					
TK (<i>Technological Knowledge</i>)	Peneliti dapat menuliskan bahasa pemrograman untuk menyelesaikan model matematika perpindahan panas dalam <i>boiler</i> menggunakan metode volume hingga pada MATLAB.					
	Peneliti dapat membuat bentuk geometri pada benda yang akan diteliti pada GAMBIT.					
	Peneliti dapat menentukan tipe batas tertentu (<i>wall, inlet, outlet</i>) pada bentuk geometri benda.					
	Peneliti dapat menentukan kondisi batas pada setiap variabel keadaan sebagai input data pada FLUENT.					
	Peneliti dapat membuat simulasi perpindahan panas dalam <i>boiler</i> .					

IDENTITAS PEER VALIDATOR

NAMA :

Jember,

Validator

(.....)

LAMPIRAN J. ANALISIS HASIL VALIDASI

Hasil analisis validasi oleh validator dijelaskan pada tabel berikut.

Aspek <i>TCK</i>	Indikator	Penilaian Validator ke-		I_i	A_i	Capaian Teoritis	Capaian Validasi	Capaian Kumulatif Teoritis	Capaian Kumulatif Validasi	V_a
		1	2							
CK	1a	4	5	4.5	4.5	50%	45%	50%	45%	4.65
	1b	5	4	4.5						
	1c	5	4	4.5						
	1d	5	5	5						
	1e	4	4	4						
TK	2a	5	5	5	4.8	50%	48%	100%	93%	
	2b	5	4	4.5						
	2c	5	5	5						
	2d	4	5	4.5						
	2e	5	5	5						

Kesimpulan: Berdasarkan hasil analisis tingkat kevalidan dalam mengasah *TCK* (*Technological Content Knowledge*) adalah valid.

LAMPIRAN K. LEMBAR PENILAIAN VALIDASI

PEDOMAN VALIDASI
TUGAS AKHIR SARJANA PENDIDIKAN MATEMATIKA

NAMA MAHASISWA : RISMAWATUS SYAHROH
 NIM : 150210101008
 JUDUL SKRIPSI : ANALISIS MODEL MATEMATIKA
 PERPINDAHAN PANAS DALAM *BOILER*
 PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP
 MENGGUNAKAN METODE VOLUME HINGGA
 UNTUK MENGASAH *TECHNOLOGICAL*
CONTENT KNOWLEDGE

Petunjuk!

- a) Berilah tanda (✓) dalam kolom penilaian yang sesuai menurut pendapat Anda.
- b) Keterangan:
 - 1: peneliti TIDAK MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan;
 - 2: peneliti KURANG MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan;
 - 3: peneliti CUKUP MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan;
 - 4: peneliti MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan;
 - 5: peneliti SANGAT MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan.

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK (<i>Content Knowledge</i>)	Peneliti memiliki pengetahuan cukup tentang perpindahan panas dalam <i>boiler</i> menggunakan metode volume hingga.				✓	
	Peneliti dapat menentukan variabel keadaan yang diteliti					✓

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK (<i>Content Know- ledge</i>)	Peneliti dapat mengembangkan model matematika perpindahan panas dalam boiler.					✓
	Peneliti dapat menyelesaikan model matematika perpindahan panas dalam boiler.					✓
	Peneliti dapat menganalisis hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.				✓	
TK (<i>Technological Know- ledge</i>)	Peneliti dapat menuliskan bahasa pemrograman untuk menyelesaikan model matematika perpindahan panas dalam boiler menggunakan metode volume hingga pada MATLAB.					✓
	Peneliti dapat membuat bentuk geometri pada benda yang akan diteliti pada GAMBIT.					✓
	Peneliti dapat menentukan tipe batas tertentu (<i>wall, inlet, outlet</i>) pada bentuk geometri benda.					✓
	Peneliti dapat menentukan kondisi batas pada setiap variabel keadaan sebagai input data pada FLUENT.				✓	
	Peneliti dapat membuat simulasi perpindahan panas dalam boiler.					✓

IDENTITAS PEER VALIDATOR

NAMA : Ratna Damayanti

Jember, 4 Juli 2019

Validator

RD

(Ratna Damayanti)

PEDOMAN VALIDASI
TUGAS AKHIR SARJANA PENDIDIKAN MATEMATIKA

NAMA MAHASISWA : RISMAWATUS SYAHROH
 NIM : 150210101008
 JUDUL SKRIPSI : ANALISIS MODEL MATEMATIKA
 PERPINDAHAN PANAS DALAM *BOILER*
 PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP
 MENGGUNAKAN METODE VOLUME HINGGA
 UNTUK MENGASAH *TECHNOLOGICAL*
CONTENT KNOWLEDGE

Petunjuk!

- a) Berilah tanda (✓) dalam kolom penilaian yang sesuai menurut pendapat Anda.
- b) Keterangan:
- 1: peneliti TIDAK MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan;
 - 2: peneliti KURANG MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan;
 - 3: peneliti CUKUP MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan;
 - 4: peneliti MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan;
 - 5: peneliti SANGAT MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan.

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK (<i>Content Knowledge</i>)	Peneliti memiliki pengetahuan cukup tentang perpindahan panas dalam <i>boiler</i> menggunakan metode volume hingga.					✓
	Peneliti dapat menentukan variabel keadaan yang diteliti				✓	

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK (Content Knowledge)	Peneliti dapat mengembangkan model matematika perpindahan panas dalam boiler.				✓	
	Peneliti dapat menyelesaikan model matematika perpindahan panas dalam boiler.					✓
	Peneliti dapat menganalisis hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.				✓	
TK (Technological Knowledge)	Peneliti dapat menuliskan bahasa pemrograman untuk menyelesaikan model matematika perpindahan panas dalam boiler menggunakan metode volume hingga pada MATLAB.					✓
	Peneliti dapat membuat bentuk geometri pada benda yang akan diteliti pada GAMBIT.				✓	
	Peneliti dapat menentukan tipe batas tertentu (wall, inlet, outlet) pada bentuk geometri benda.					✓
	Peneliti dapat menentukan kondisi batas pada setiap variabel keadaan sebagai input data pada FLUENT.					✓
	Peneliti dapat membuat simulasi perpindahan panas dalam boiler.					✓

IDENTITAS PEER VALIDATOR

NAMA : Fida Yulian Sari

Jember, 06 Juli 2019

Validator


(Fida Yulian Sari)

LAMPIRAN L. LEMBAR REVISI SKRIPSI



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
 Jalan Kalimantan Nomor 37 Kampus Bumi Tegalboto Jember 68121
 Telepon: 0331-334988, 330738 Faks: 0331-334988
 Laman: www.fkip.unej.ac.id

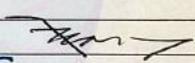
LEMBAR REVISI SKRIPSI

NAMA MAHASISWA : Rismawatus Syahroh
 NIM : 150210101008
 JUDUL SKRIPSI : Analisis Model Matematika Perpindahan Panas Dalam *Boiler* Pembangkit Listrik Tenaga Uap Menggunakan Metode Volume Hingga Untuk Mengasah *Technological Content Knowledge*
 TANGGAL UJIAN : 23 Juli 2019
 PEMBIMBING : Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.
 Drs. Toto Bara Setiawan, M.Si.

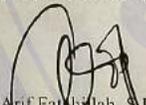
MATERI PEMBETULAN / PERBAIKAN

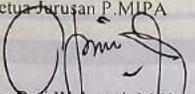
No.	HALAMAN	HAL-HAL YANG HARUS DIPERBAIKI
1.	3	Penambahan kalimat pada batasan masalah yang kedua
2.	24	Penambahan cara kerja boiler
3.	28	Perbaikan gambar boiler
4.	62	Penambahan grafik hasil TCK
5.	84-85	Penambahan data iterasi gauss seidel

PERSETUJUAN TIM PENGUJI

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

Jember, 26 Juli 2019
 Mengetahui / menyetujui :

Dosen Pembimbing I,  Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si. NIP. 19820529 200912 1 003	Dosen Pembimbing II,  Drs. Toto Bara Setiawan, M.Si. NIP. 19581209 198603 1 003	Mahasiswa Yang Bersangkutan  Rismawatus Syahroh NIM. 150210101008
---	---	---

Mengetahui,
 Ketua Jurusan P.MIPA

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