



**ANALISIS MODEL MATEMATIKA PADA PERPINDAHAN
PANAS KONVEKSI PENERIMA VOLUMETRIK
DI MENARA SURYA MENGGUNAKAN
METODE VOLUME HINGGA DAN
SEBAGAI MONOGRAF**

SKRIPSI

Oleh

PUTRI NUR AMALINA

NIM 130210101058

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

2017



**ANALISIS MODEL MATEMATIKA PADA PERPINDAHAN
PANAS KONVEKSI PENERIMA VOLUMETRIK
DI MENARA SURYA MENGGUNAKAN
METODE VOLUME HINGGA DAN
SEBAGAI MONOGRAF**

SKRIPSI

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

Oleh

PUTRI NUR AMALINA

NIM 130210101058

Dosen Pembimbing 1 : Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si
Dosen Penguji 1 : Susi Setiawani, S.Si., M.Sc.
Dosen Penguji 2 : Drs. Toto' Bara Setiawan, M.Si.

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

2017

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, serta sholawat atas Nabi Muhammad S.A.W, kupersembahkan rasa terima kasihku yang terdalam kepada:

1. Kedua orang tuaku Bapak Saiful dan Ibu Ririen Widajanti, serta Adikku Muh. Fikri Firmansyah yang selalu memberi semangat, dorongan, dan kasih sayangnya serta doa yang tiada henti selalu mengiringi langkahku dalam meraih impianku;
2. Bapak Prof. Drs. Dafik, M.Sc, Ph.D dan Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si selaku pembimbing skripsi yang dengan sabar telah memberikan ilmu dan bimbingan selama menyelesaikan skripsi ini;
3. Pada guru dan dosen yang telah memberikan pengalaman serta ilmu dan membimbing dalam berbagai hal;
4. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
5. Teman-teman terdekatku Vivian, Putri, Marina, Ocvida, Raras dan Intan yang selalu memberikan semangat dan memberikan berbagai pengalaman berharga;
6. Teman-teman seperjuangan Pemodelan Siti Aisyah, Nurul Fika Romadhoni, Devi Yulianti, Riska Amalia Hakim, Ahmad Rizqi Lazuardi, Budi Adi Saputra, Juanda Brahmanto yang telah memberi dorongan semangat serta banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini;
7. Seluruh teman-teman seperjuangan FKIP Matematika angkatan 2013 terutama teman-teman satu DPA serta teman-teman KKMT SMPN 4 Jember yang telah memberikan semangat, canda tawa dan pengalaman yang berarti;

HALAMAN MOTTO

كُتِبَ عَلَيْكُمُ الْقِتَالُ وَهُوَ كُرْهُ لَكُمْ وَعَسَىٰ أَن تَكْرَهُوا شَيْئًا
وَهُوَ خَيْرٌ لَّكُمْ وَعَسَىٰ أَن تُحِبُّوا شَيْئًا وَهُوَ شَرٌّ لَّكُمْ وَاللَّهُ يَعْلَمُ
وَأَنْتُمْ لَا تَعْلَمُونَ ﴿٢١٦﴾

"Diwajibkan atas kamu berperang, padahal berperang itu adalah sesuatu yang kamu benci. Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu; Allah mengetahui, sedang kamu Tidak mengetahui"

(QS. Al-Baqarah [2]: 216)

"God moves in mysterious ways his wonders to perform."

-William Cowper-

"A person who never made a mistake never tried anything new."

-Albert Einstein-

"There are things known and there are things unknown, and in between are the doors of perception."

-Aldus Huxley-

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Putri Nur Amalina

NIM : 130210101058

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul "*Analisis Model Matematika Pada Perpindahan Panas Konveksi Penerima Volumetrik di Menara Surya Menggunakan Metode Volume Hingga Dan Sebagai Monograf*" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada instansi mana pun, dan 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 ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 4 April 2017

Yang menyatakan,

Putri Nur Amalina

NIM 130210101058

SKRIPSI

ANALISIS MODEL MATEMATIKA PADA PERPINDAHAN
PANAS KONVEKSI PENERIMA VOLUMETRIK
DI MENARA SURYA MENGGUNAKAN
METODE VOLUME HINGGA DAN
SEBAGAI MONOGRAF

Oleh

PUTRI NUR AMALINA

NIM 130210101058

Pembimbing

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

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

HALAMAN PENGANTAR

ANALISIS MODEL MATEMATIKA PADA PERPINDAHAN
PANAS KONVEKSI PENERIMA VOLUMETRIK
DI MENARA SURYA MENGGUNAKAN
METODE VOLUME HINGGA DAN
SEBAGAI MONOGRAF

SKRIPSI

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 : Putri Nur Amalina
NIM : 130210101058
Tempat dan Tanggal Lahir : Probolinggo, 29 Januari 1995
Jurusan / Program : Pendidikan MIPA / P. Matematika

Disetujui oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,

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

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

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi berjudul : Analisis Model Matematika Pada Perpindahan Panas Konveksi Penerima Volumetrik di Menara Surya Menggunakan Metode Volume Hingga Dan Sebagai Monograf telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan pada:

Hari : Selasa

Tanggal : 4 April 2017

Tempat : Gedung 3 FKIP UNEJ

Tim Penguji :

Ketua,

Sekretaris,

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

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

Anggota I,

Anggota II,

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

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

Mengetahui,

Dekan Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan
Universitas Jember

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

RINGKASAN

ANALISIS MODEL MATEMATIKA PADA PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI PENERIMA VOLUMETRIK DI MENARA SURYA MENGGUNAKAN METODE VOLUME HINGGA DAN SEBAGAI MONOGRAF, Putri Nur Amalina, 130210101058, 2017, 76 Halaman. Program Studi Pendidikan Matematika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

Matematika merupakan suatu ilmu yang memiliki peranan penting dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Sehingga matematika tidak lepas dari perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang saat ini terjadi. Matematika digunakan di berbagai bidang diantaranya teknik, industri serta bidang sains yang lainnya. Terutama kegunaan matematika dalam bidang sains yang lain yaitu bidang fisika, matematika digunakan dalam penentuan model matematika dalam masalah mekanika fluida, perpindahan panas dan lain-lain.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang saat ini tetap berkembang adalah perkembangan alat yang dapat memanfaatkan energi terbarukan sehingga mendapatkan hasil yang maksimal. Energi tersebut dihasilkan dari sumber daya energi secara alami tidak akan habis bahkan berkelanjutan jika dikelola dengan baik. Sumber energi terbarukan adalah aliran air sungai, gelombang laut, panas bumi, biomassa dan sinar matahari. Oleh karena itu, para peneliti menciptakan menara surya yang didalamnya terdapat penerima volumetrik yang berguna untuk mengolah energi matahari menjadi energi listrik.

Dari latar belakang tersebut maka dilakukan penelitian yang memiliki tujuan untuk mengetahui model matematika perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya dengan menggunakan metode volume hingga, menganalisis proses perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya berdasarkan kecepatan angin, menganalisis proses perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya berdasarkan temperatur sekitar, dan untuk mengetahui efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya.

Tahapan kegiatan penelitian meliputi, pertama, menentukan model ma-

tematika proses perpindahan panas pada penerima volumetrik. Tahapan ini meliputi studi pustaka proses perpindahan panas pada penerima volumetrik kemudian membuat model dengan peninjauan perubahan momentum dan energi dengan menggunakan Metode Volume Hingga. Kedua, menentukan diskritisasi model matematika perpindahan panas dalam penerima volumetrik. Ketiga, model matematika yang terbentuk disimulasikan dengan MATLAB serta visualisasi perpindahan panas pada penerima volumetrik dengan FLUENT.

Hasil penelitian disimpulkan sebagai berikut:

1. Model matematika perpindahan panas pada penerima volumetrik di menara surya, merupakan persamaan yang menyatakan persamaan momentum dan persamaan energi yang bergantung pada kecepatan angin, diselesaikan secara numerik dengan metode volume hingga dengan teknik diskritisasi *QUICK*.

$$\begin{aligned}
 & \phi_e \left(\rho \eta u \Delta y \Delta t - \frac{\rho^2 \Delta x \Delta y^2 \Delta t}{\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} \right) \\
 & + \phi_w \left(\frac{\rho^2 \Delta x \Delta y^2 \Delta t}{\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} - \rho \eta u \Delta y \Delta t \right) \\
 & + \phi_n \left(\rho \eta v \Delta x \Delta t - \frac{\rho^2 \Delta y \Delta x^2 \Delta t}{\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} \right) \\
 & + \phi_s \left(\frac{\rho^2 \Delta y \Delta x^2 \Delta t}{\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} - \rho \eta v \Delta x \Delta t \right) \\
 & = -P \Delta y \Delta t - P \Delta x \Delta t + 2\mu \frac{u}{\Delta x} \Delta y \Delta t + 2\mu \frac{v}{\Delta y} \Delta x \Delta t \\
 & + \rho g \Delta y \Delta t + \rho g \Delta x \Delta t - \bar{u} d \Delta y \Delta t - \bar{v} d \Delta x \Delta t
 \end{aligned} \tag{1}$$

2. Pada proses perpindahan panas dalam penerima volumetrik berdasarkan kecepatan angin 2 m/s mengalami kenaikan temperatur sebesar 659.38°C, temperatur penerima volumetrik dengan kecepatan angin 2.5 m/s mengalami peningkatan sebesar 529.72°C dan temperatur pada penerima volumetrik dengan kecepatan angin 3 m/s mengalami peningkatan sebesar

166.1°C. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan angin maka semakin menurun temperatur di dalam penerima volumetrik.

3. Pada proses perpindahan panas dalam penerima volumetrik, diperoleh temperatur dalam penerima volumetrik berdasarkan temperatur sekitar 27°C mengalami kenaikan sebesar 25.722°C, temperatur dalam penerima volumetrik berdasarkan temperatur 32°C mengalami kenaikan sebesar 242.27°C dan temperatur dalam penerima volumetrik berdasarkan 37°C mengalami kenaikan sebesar 768.55°C. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar temperatur sekitar menara surya maka semakin besar temperatur dalam penerima volumetrik.
4. Persamaan perpindahan penerima volumetrik di menara surya menggunakan metode volume hingga adalah model yang efektif dalam menyelesaikan masalah perpindahan panas berdasarkan kecepatan angin dan temperatur sekitar dengan tingkat toleransi kesalahan perhitungan dibawah 0.01 yaitu 0.009675 dan 0.001366.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Analisis Komputasi Numerik Pada Aliran Udara Untuk Penerima Volumetrik Di Menara Surya Dengan Metode Volume Hingga Dan Sebagai Monograf. 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 memberika ilmu;
8. Dosen dan Karyawan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
9. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan 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, 4 April 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN BIMBINGAN	v
HALAMAN PENGAJUAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMBANG	xviii
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Kebaharuan Penelitian	4
2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Model Matematika dan Pemodelan Matematika	5
2.2 Monograf	7
2.3 CFD (<i>Computational Fluid Dynamics</i>)	8
2.4 GAMBIT (<i>Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit</i>)	9
2.5 FLUENT	11
2.6 Metode Volume Hingga	12
2.6.1 Persamaan Momentum	14
2.6.2 Persamaan Energi	15

2.7	Teknik Diskritisasi <i>Quadratic Upwind Interpolation Convective Kinematics</i> (QUICK)	16
2.8	Fluida	18
2.8.1	Jenis-Jenis Fluida	18
2.8.2	Jenis-Jenis Aliran Fluida	20
2.9	Menara Surya	21
2.10	Penerima Volumetrik	22
2.11	Algoritma dan Pemograman <i>MATLAB</i>	23
2.11.1	Algoritma	23
2.11.2	MATLAB 7.0	23
2.11.3	Metode Gauss Seidell	24
2.11.4	Galat atau <i>Error</i>	27
3	METODE PENELITIAN	34
3.1	Jenis Penelitian	34
3.2	Prosedur Penelitian	34
3.3	Definisi Operasional	37
3.4	Tempat Penelitian	38
3.5	Metode Pengumpulan Data	38
3.6	Data dan Analisis Data	38
4	HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1	Persamaan Matematika Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik	41
4.1.1	Pembuktian Persamaan Momentum	42
4.1.2	Pembuktian Persamaan Energi	45
4.2	Penyelesaian Model Matematika Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik di Menara Surya	46
4.3	Diskritisasi Model Matematika Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik di Menara Surya Menggunakan Metode Volume Hingga Dengan Teknik Diskritisasi <i>QUICK</i>	51

4.4	Bentuk Matriks $n \times n$ Hasil Diskritisasi Model Matematika Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik di Menara Surya dengan Teknik Diskritisasi <i>QUICK</i>	53
4.5	Efektivitas Metode Volume Hingga dengan Menggunakan <i>Error</i> Relatif Dalam Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik di Menara Surya	58
4.5.1	Format <i>Programming</i>	58
4.5.2	Penggunaan <i>Error</i> Relatif Pada Metode Volume Hingga	61
4.5.3	Simulasi Program Model Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik di Menara Surya	61
4.6	Analisis dan Pembahasan	62
4.6.1	Komputasi <i>MATLAB</i>	62
4.6.2	Simulasi <i>FLUENT</i>	64
4.6.3	Analisis Efektivitas Metode Volume Hingga Pada Faktor Kecepatan Perpindahan Panas Penerima Surya di Menara Surya	69
5	KESIMPULAN DAN SARAN	72
5.1	Kesimpulan	72
5.2	Saran	73
	DAFTAR PUSTAKA	74
	LAMPIRAN-LAMPIRAN	
	A. FORMAT <i>PROGRAMMING</i> MATLAB	77
	B. HASIL SIMULASI NUMERIK MENGGUNAKAN METODE GAUSS SEIDEL	85
	C. HASIL PERHITUNGAN <i>ERROR</i> RELATIF	89
	D. MONOGRAF	93

DAFTAR GAMBAR

2.1	Tampilan Awal GAMBIT	10
2.2	Contoh GAMBIT	10
2.3	Tampilan FLUENT	12
2.4	Model Volume Kendali Dua Dimensi	13
2.5	Sel Pusat dan Sel Vertex	14
2.6	Bagan Volume Kendali Persamaan Momentum	15
2.7	Bagan Volume Kendali Persamaan Energi	16
2.8	Diskritisasi QUICK	17
2.9	Fluida Gas	19
2.10	Fluida Cair	19
2.11	Aliran Fluida	20
2.12	Menara Surya	22
2.13	Penerima Volumetrik	22
2.14	Tampilan MATLAB	24
3.1	Diagram Alur Penelitian	36
4.1	Bagan Volume Kendali Persamaan Momentum	42
4.2	Bagan Volume Kendali Persamaan Energi	45
4.3	Diskritisasi Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik di Menara Surya	56
4.4	Grafik Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik di Menara Surya Berdasarkan Kecepatan Angin	63
4.5	Grafik Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik di Menara Surya Berdasarkan Temperatur	64
4.6	Bentuk Geometri Penerima Volumetrik	65
4.7	Kontur Temperatur Pada Perpindahan Panas Penerima Volumetrik dengan Kecepatan 2 m/s	66
4.8	Kontur Temperatur Pada Perpindahan Panas Penerima Volumetrik dengan kecepatan 2.5 m/s	66

4.9	Kontur Temperatur Pada Perpindahan Panas Penerima Volumetrik dengan kecepatan 3 m/s	67
4.10	Kontur Temperatur Pada Perpindahan Panas Penerima Volumetrik dengan Temperatur Awal 27°C	68
4.11	Kontur Temperatur Pada Perpindahan Panas Penerima Volumetrik dengan Temperatur Awal 32°C	68
4.12	Kontur Temperatur Pada Perpindahan Panas Penerima Volumetrik dengan Temperatur Awal 37°C	69
4.13	Grafik Konvergensi Visualisasi Simulasi Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik Dengan Kecepatan Angin	70
4.14	Grafik Konvergensi Visualisasi Simulasi Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik Dengan Temperatur Awal 27°C	70
4.15	Grafik Konvergensi Visualisasi Simulasi Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik Dengan Temperatur Awal 32°C	71
4.16	Grafik Konvergensi Visualisasi Simulasi Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik Dengan Temperatur Awal 37°C	71

DAFTAR TABEL

2.1 Tabel Penggunaan CFD Menggunakan Metode Volume Hingga Beserta visualisi *Software* FLUENT 30



DAFTAR LAMBANG

ΣF	=	resultan Gaya
g_1	=	gaya permukaan 1
g_2	=	gaya permukaan 2
i	=	diskritisasi pada sumbu x
j	=	diskritisasi pada sumbu y
I	=	cahaya keluar
I_0	=	cahaya masuk
ξ	=	molar absorpsitivitas untuk panjang gelombang tertentu
(x_f, y_f, z_f)	=	koordinat dari menara surya
(x_h, y_h, z_h)	=	koordinat dari cermin heliostat
x	=	sumbu x
y	=	sumbu y
t	=	waktu
$\frac{\partial}{\partial x}$	=	derivatif terhadap x
$\frac{\partial}{\partial y}$	=	derivatif terhadap y
$\frac{\partial}{\partial t}$	=	derivatif terhadap t
ρ	=	massa jenis
u	=	komponen kecepatan pada sumbu x
v	=	komponen kecepatan pada sumbu y
ϕ_n	=	kontrol permukaan <i>north</i> atau utara
ϕ_e	=	kontrol permukaan <i>east</i> atau timur
ϕ_w	=	kontrol permukaan <i>west</i> atau barat
ϕ_s	=	kontrol permukaan <i>south</i> atau selatan
Δx	=	perubahan sumbu x
Δt	=	perubahan waktu
η	=	panas efisien
P	=	tekanan
g	=	gaya gravitasi
μ	=	viskositas udara
d	=	lebar penerima volumetrik
k	=	konduktivitas

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Matematika merupakan suatu ilmu yang memiliki peranan penting dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Sehingga matematika tidak lepas dari perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang saat ini terjadi. Matematika digunakan di berbagai bidang diantaranya teknik, industri serta bidang sains yang lainnya. Terutama kegunaan matematika dalam bidang sains yang lain yaitu bidang fisika, matematika digunakan dalam penentuan model matematika dalam masalah mekanika fluida, perpindahan panas dan lain-lain.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang saat ini tetap berkembang adalah perkembangan alat yang dapat memanfaatkan energi terbarukan sehingga mendapatkan hasil yang maksimal. Energi terbarukan merupakan sumber energi yang dapat diperbarui. Energi tersebut dihasilkan dari sumber daya energi secara alami tidak akan habis bahkan berkelanjutan jika dikelola dengan baik. Sumber energi terbarukan adalah aliran air sungai, gelombang laut, panas bumi, biomassa dan sinar matahari. Pada dasarnya, semua sumber-sumber energi ini terjadi karena adanya radiasi matahari (Syah, 2006).

Energi surya merupakan salah satu sumber energi alternatif yang memanfaatkan sinar dan panas matahari atau radiasi matahari. Energi ini dapat dimanfaatkan secara langsung maupun secara tidak langsung dengan bantuan alat seperti pemanas surya, fotovoltaik surya, fotosintesis buatan bahkan tenaga surya terpusat. Pemanfaatan ini telah dikembangkan oleh beberapa negara maju karena mudah didapatkan dan bebas polusi sehingga mampu mengurangi dampak negatif pada lingkungan.

Menara surya merupakan alat yang dapat mengubah panas matahari menjadi energi listrik. Menurut Lovegrove (2012), menara surya merupakan salah satu

teknologi yang mampu menghasilkan listrik yang maksimal serta dapat mengurangi dampak lingkungan. Selain itu, menara surya memiliki tungku penyimpanan yang berfungsi untuk menyimpan panas yang telah diperoleh.

Disekitar menara surya terdapat heliostat yang berfungsi dalam memantulkan panas matahari ke alat penerima panas atau penerima volumetrik di puncak menara surya. Alat penerima panas atau penerima volumetrik yang akan meneruskan panas sehingga energi panas berubah menjadi energi listrik.

Penerima volumetrik merupakan bagian penting pada menara surya (Seung-Hyun Lee, 2015: 58-71). Penerima volumetrik berfungsi untuk menerima panas matahari yang dipantulkan dan meneruskan ke tungku penyimpanan yang selanjutnya menuju turbin untuk menggerakkan generator sehingga menghasilkan energi listrik.

Berdasarkan uraian diatas, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan memodelkan perpindahan panas yang terjadi pada penerima volumetrik. Proses perpindahan dalam penerima volumetrik yang tidak terstruktur, sehingga metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode volume hingga. Metode volume hingga merupakan metode yang sesuai dalam menyelesaikan masalah menggunakan grid tidak terstruktur. Hal ini akan mempermudah dalam menentukan nilai-nilai saat proses diskritisasi.

Metode volume hingga adalah salah satu metode yang sering digunakan pada metode numerik dengan cara membagi dan mempartisi objek menjadi beberapa bagian, sehingga memudahkan kita untuk melakukan perhitungan. Penelitian ini dikembangkan dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dalam bentuk 2 dimensi. Analisis model menggunakan *software* MATLAB dan untuk simulasi perpindahan panas pada penerima volumetrik menggunakan *software* FLUENT.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat disimpulkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. bagaimana model matematika pada perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya menggunakan metode volume hingga?

2. bagaimana proses perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya berdasarkan kecepatan angin?
3. bagaimana proses perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya berdasarkan temperatur sekitar menara surya?
4. bagaimana efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari luasnya permasalahan yang akan dipecahkan, maka dalam penelitian ini permasalahan akan dibatasi pada :

1. pemodelan mengenai aliran udara pada penerima volumetrik di menara surya;
2. proses analisis aliran udara pada penerima volumetrik berdasarkan kecepatan angin dan temperatur sekitar menara surya;
3. penerima volumetrik yang digunakan tipe penerima volumetrik terbuka;
4. pemodelan dilakukan dengan keadaan penerima volumetrik berfungsi dengan baik;
5. laju aliran dan tekanan pada penerima volumetrik dianggap konstan.

1.4 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan rumusan masalah dan latar belakang, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. untuk mengetahui model matematika pada perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya menggunakan metode volume hingga;
2. untuk mengetahui proses perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya berdasarkan kecepatan angin;
3. untuk mengetahui proses perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya berdasarkan temperatur sekitar;
4. untuk mengetahui efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. menambah pengetahuan baru dalam bidang pemodelan matematika yaitu mengetahui model matematika mengenai aliran udara pada penerima volumetrik di menara surya;
2. menjadi sumber bacaan bagi para peneliti lain yang ingin melakukan penelitian dalam bidang pemodelan matematika;
3. memberikan kontribusi pada perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang pemodelan matematika menggunakan metode volume hingga;
4. memberikan kontribusi kepada pengguna menara surya sebagai penghasil listrik agar mendapatkan aliran udara panas yang sesuai;

1.6 Kebaharuan Penelitian

Adapun kebaruan dari penelitian ini adalah:

1. variabel penelitian berbeda dengan penelitian sebelumnya;
2. menggunakan aplikasi MATLAB dengan versi terbaru;
3. model rumus yang digunakan berbeda dengan sebelumnya;
4. menggunakan metode volume hingga dengan teknik diskritisasi *Quadratic Upwind Interpolation Convective Kinematics (QUICK)*

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang saat ini terjadi membuat para ahli mencari atau menciptakan suatu alat dengan memanfaatkan sumber energi yang ada. Awalnya para ahli menemukan bahan bakar yang dapat digunakan untuk membangkitkan energi listrik yaitu Bahan Bakar Minyak (BBM). Namun, seiring berjalannya waktu bahan bakar tersebut mengalami pengurangan. Hal ini yang membuat para ahli menciptakan alat dengan menggunakan sumber energi yang ada.

Model matematika aliran udara pada penerima volumetrik di menara surya menggunakan metode volume hingga merupakan salah satu contoh perkembangan teknologi dengan memanfaatkan panas matahari. Kemudian akan dianalisis secara numerik menggunakan MATLAB. Simulasi aliran udara yang terjadi di penerima volumetrik di menara surya dilakukan dengan bantuan FLUENT. Oleh karena itu, pada bab 2 akan dibahas tentang teori-teori yang mendukung penyelesaian dari permasalahan yang ada pada penelitian ini.

2.1 Model Matematika dan Pemodelan Matematika

Model matematika dikatakan sebagai deskripsi dari suatu fenomena yang di uji coba atau diperoleh dengan menggunakan bahasa matematika. Model matematika terdiri dari himpunan besaran kuantitatif dan relasi-relasi yang terdapat dalam suatu fenomena. Dalam model matematika terdapat dua besaran kuantitatif yaitu variabel dan parameter yang berkaitan dengan suatu relasi matematika. Jadi model matematika merupakan suatu model yang dihasilkan dari suatu proses yang terdiri dari konsep-konsep matematika seperti konstanta, variabel, fungsi, persamaan, ketaksamaan dan sebagainya. Menurut Lovitt (1991) pemodelan matematika ditandai oleh dua ciri utama, yaitu (1) pemodelan bermula dan berakhir dengan dunia nyata, (2) pemodelan membentuk suatu siklus.

Pemodelan matematika merupakan bidang matematika yang berusaha untuk merepresentasi dan menjelaskan sistem-sistem fisik atau problem pada dunia real dalam pernyataan matematik, sehingga diperoleh pemahaman dari problem dunia real ini menjadi lebih tepat. Representasi matematika yang dihasilkan dari proses ini dikenal sebagai "Model Matematika". Konstruksi, analisis dan penggunaan model matematika dipandang sebagai salah satu aplikasi matematika yang paling penting (Widowati dan Sutimin, 2007).

Proses pemodelan matematika dikatakan sebagai terjemahan dari fenomena-fenomena atau masalah dunia nyata. Informasi tersebut diperoleh dengan melakukan kajian matematika menggunakan kaidah-kaidah matematika. Sehingga informasi yang diperoleh mengenai suatu fenomena juga dalam bentuk bahasa matematika.

Menurut Widowati dan Sutimin (2007) terdapat beberapa jenis-jenis model matematika dan ini meliputi, model empiris, model simulasi, model stokastik dan deterministik.

1. Model Empiris

Pada model empiris, data yang berhubungan dengan problem menentukan peran yang penting. Dalam pendekatan ini, gagasan yang utama adalah mengkonstruksi formula (atau persamaan) matematika yang dapat menghasilkan grafik yang terbaik untuk mencocokkan data.

2. Model Simulasi

Pendekatan yang lain untuk pemodelan matematika adalah konstruksi model simulasi. Dalam pendekatan ini, program komputer ditulis didasarkan pada aturan-aturan. Aturan - aturan ini dipercaya untuk membentuk bagaimana suatu proses atau fenomena akan berjalan terhadap waktu dalam kehidupan nyata. Program komputer ini dijalankan terhadap waktu sehingga implikasi interaksi dari berbagai variabel dan komponen yang dikaji dan diuji.

3. Model Deterministik dan Stokastik

Model deterministik meliputi penggunaan persamaan atau himpunan persamaan untuk merepresentasikan hubungan antara berbagai kornponen

(atau variabel) suatu sistem atau problem. Suatu contoh adalah persamaan diferensial biasa yang menjelaskan bagaimana suatu kuantitas tertentu berubah terhadap waktu. Persamaan ini menunjukkan hubungan antara kuantitas (yang dinyatakan oleh variabel tak bebas dari persamaan) dan waktu sebagai variabel bebas. Diberikan syarat awal yang sesuai, persamaan diferensial dapat diselesaikan untuk memprediksi perilaku sistem model.

Pada penyusunan pemodelan matematika terdapat beberapa tahap, yaitu :

1. pengamatan fenomena sistem fisik yang akan dimodelkan;
2. identifikasi beberapa elemen yang menyusun sistem, termasuk variabel *dependent* maupun variabel *independent*;
3. identifikasi banyak elemen yang menyusun sistem dan identifikasi hubungan sebab akibat, sebagaimana pada persamaan konservasi yang berhubungan dengan kuantitas keadaan sistem;
4. penurunan model matematika menggunakan variabel *dependent*, yaitu dengan mengeksplor hubungan antara sebab akibat yang dimiliki (Iswanto, 2012: 20).

Dapat disimpulkan jika proses pemodelan matematika dapat dikatakan sebagai terjemahan suatu fenomena serta masalah dunia nyata dalam bahasa matematika. Oleh karena itu, pemodelan matematika mengenai aliran udara pada penerima volumetrik di menara surya juga melihat dari kejadian nyata berdasarkan data-data yang telah ada kemudian dimodelkan dalam suatu persamaan matematika.

2.2 Monograf

Menurut Syawal (2016:5), monograf merupakan terbitan yang mempunyai satu kesatuan yang utuh terdiri dari satu jilid atau lebih. Dalam ilmu perpustakaan, definisi monograf adalah terbitan yang bukan terbitan berseri yang lengkap dalam satu volume atau sejumlah volume yang sudah ditentukan sebelumnya (Kemala, 2014). Monograf dibuat berdasarkan dengan hasil dari suatu penelitian yang berguna dalam membantu peneliti yang lainnya. Ciri-ciri monograf

yaitu berisi satu pokok permasalahan, berjilid, memiliki halaman judul, terdapat daftar isi, terdapat kata pengantar, terbit dalam satu jilid atau beberapa volume dengan permasalahan yang sama, umumnya memiliki ISBN (*International Standard Book Number*).

Hasilnya dapat berupa buku atau dimuat dalam sebuah jurnal ilmiah. Dasar penulisan monograf adalah hasil penelitian dan pemikiran penulis. Substansi pembahasannya hanya pada satu hal saja serta dalam satu bidang ilmu berisi topik atau sejumlah topik(subjek) yang saling berkaitan. Pada penelitian ini nantinya akan dibuat sebuah monograf berupa buku atau modul yang berisikan bagaimana analisis numerik aliran udara pada penerima volumetrik di menara surya.

2.3 CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

Pada kehidupan sehari-hari banyak zat yang kita temui, bahkan kejadian dari suatu zat tersebut. Misalnya fenomena meteorologi (angin, hujan dan badai), zat-zat yang berbahaya bagi lingkungan (polusi udara), pengkondisian udara bagi bangunan dan mobil, aliran sungai dan banjir, proses dalam tubuh (aliran darah, sistem pernapasan, sistem pencernaan), serta masih banyak yang lainnya. Pada penelitian ini, fenomena-fenomena tersebut akan dianalisis dengan cepat dan akurat dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan suatu sistem analisis yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena yang berkaitan dengan reaksi kimia menggunakan cara simulasi berbasis komputer. Menurut Tuakia (2008:2), CFD merupakan ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika atau model matematika.

Simulasi CFD dibagi menjadi tiga tahapan utama, yaitu:

1. *Pre-processing*

Processing merupakan tahapan awal dalam membangun serta menganalisis sebuah model CFD (Tuakia, 2008:6). Pada proses ini model akan dibentuk sedemikian rupa sehingga terdapat beberapa bagian untuk memberikan batasan-batasan aliran fluida yang dijalankan serta membuat model

menjadi suatu objek yang akan dialiri oleh fluida. Pada tahap ini beberapa hal yang perlu dilakukan ialah :

- pendefinisian bentuk geometri yang digunakan (dua dimensi atau tiga dimensi);
- pembentukkan grid (mesh) pada domain;
- pemilihan model berdasarkan fenomena fisik dan kimia;
- penentuan sifat-sifat fluida (aliran fluida, viskositas, massa jenis, dll);
- penentuan kondisi batas yang sesuai dengan bentuk geometri dan fluida.

2. *Solver Manager*

Tahapan *solver* merupakan tahapan proses pemecahan secara numerik pada CFD. Metode penyelesaian ini dibagi menjadi tiga yaitu metode beda hingga, metode volume hingga dan metode elemen hingga. Penyelesaian tahapan *solver* memiliki tiga tahapan yaitu :

- aproksima aliran yang tidak diketahui dengan fungsi sederhana;
- diskritisasi dengan memsubstitusikan hasil aproksimasi ke dalam persamaan aliran yang dibangun disertai manipulasi matematik;
- penyelesaian persamaan secara aljabar.

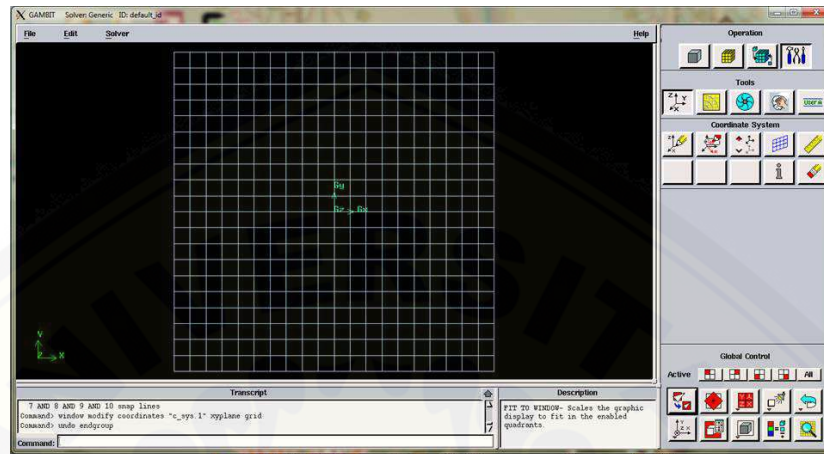
3. *Postprocessing*

Postprocessing merupakan tahapan akhir dalam simulasi CFD. Pada tahap ini, hasil dari *preprocessing* dan *solver* akan diinterpretasikan ke dalam bentuk grafik atau gambar dengan pola warna tertentu yang menjelaskan aliran fluida. Tampilan dapat berupa domain geometri dan grid, plot vektor, plot garis dan bidang, plot 2 dimensi atau 3 dimensi, pergerakan partikel, manipulasi tampilan (rotasi, perbesaran, dll), output warna.

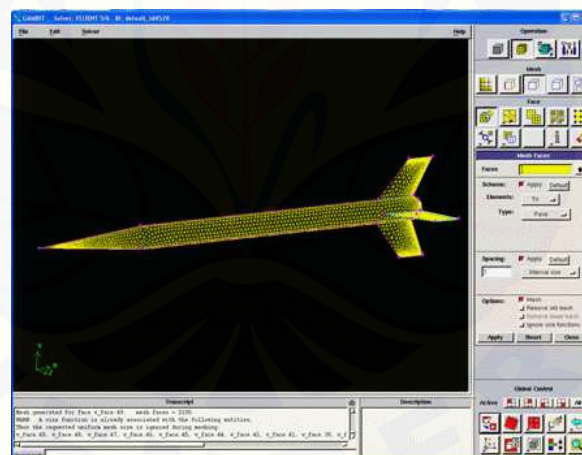
2.4 **GAMBIT (*Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit*)**

GAMBIT (*Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit*) merupakan salah satu *pre-processor* yang didesain untuk membantu membuat model dan melakukan diskritisasi (*meshing*) pada model untuk analisis CFD (Tuakia, 2008:9).

GAMBIT sangat penting dalam mengkonstruksi suatu model secara geometris. Pada *software* ini terdapat beberapa alat (*tools*) yang dapat digunakan dalam mengkonstruksikan bentuk-bentuk geometri secara teratur maupun tidak teratur serta menganalisis suatu objek



Gambar 2.1 Tampilan Awal GAMBIT



Gambar 2.2 Contoh GAMBIT

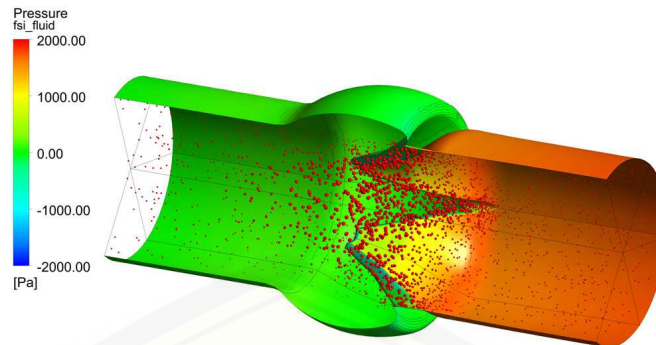
Pada Gambar 2.1 merupakan tampilan awal dari *software* GAMBIT. GAMBIT dapat membuat model dan melakukan diskritisasi (*meshing*) dalam berbagai macam bentuk baik secara 2 dimensi maupun 3 dimensi, bahkan untuk bentuk

yang rumus dan tidak beraturan. Hal ini dikarenakan GAMBIT dapat melakukan *meshing* dengan berbagai macam *mesh* yaitu *mesh* heksahedral terstruktur maupun tidak terstruktur, tetrahedral, piramid, dan prisma. *Meshing* berguna dalam membagi model geometri dari objek yang diteliti sehingga mempermudah peneliti melakukan komputasi.

2.5 FLUENT

FLUENT merupakan salah satu program CFD yang menggunakan metode volume hingga (Tuakia, 2008:133). Fluent mempunyai fleksibilitas *mesh* yang lengkap, sehingga mampu menyelesaikan kasus pada aliran fluida yang tidak terstruktur dengan cara yang relatif mudah. Langkah-langkah umum penyelesaian analisis CFD menggunakan Fluent sebagai berikut:

- pembuatan geometri dan mesh pada model;
- memilih *solver* yang tepat untuk model tersebut yaitu 2 dimensi atau 3 dimensi;
- mengimpor *mesh* model yang telah dibuat menggunakan GAMBIT;
- melakukan pemeriksaan pada *mesh* model;
- memilih *solver*;
- memilih persamaan dasar yang dipakai dalam proses analisis, misalnya laminar, turbulen, reaksi kimia, perpindahan kalor, dan lain-lain;
- menentukan sifat material yang akan dipakai;
- menentukan kondisi batas;
- mengatur parameter kontrol solusi;
- *initialize the flow field*;
- melakukan perhitungan/iterasi;
- memeriksa hasil iterasi;
- menyimpan hasil iterasi (Supit dkk.,2014).



Gambar 2.3 Tampilan FLUENT

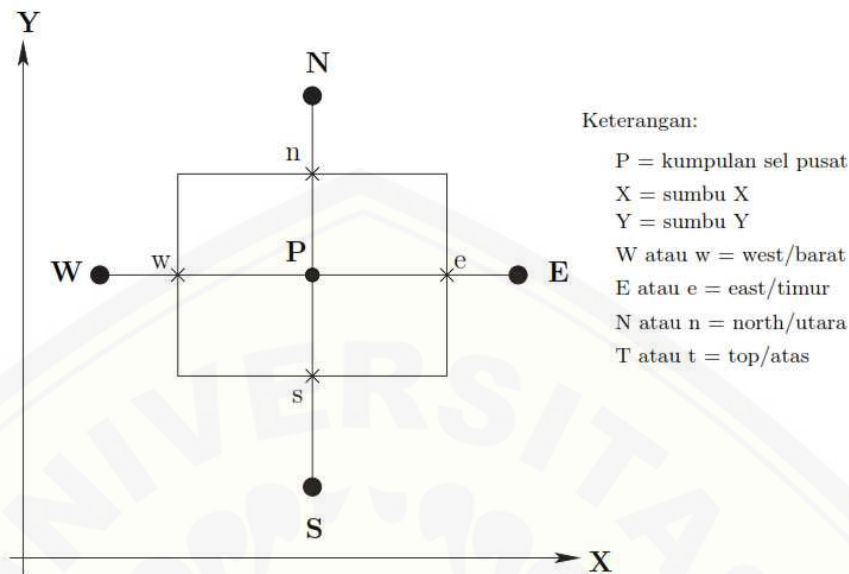
Berdasarkan langkah tersebut, *Fluent* mampu memberikan simulasi atau gambaran yang mendekati kenyataan mengenai fenomena atau kejadian. Selain itu, data-data yang telah diperoleh dari pengamatan dapat dimasukkan menjadi indikator. Pada fluida, indikator yang dimasukkan yaitu temperatur, kecepatan, serta tekanan sesuai dengan objek sebenarnya (Tuakia, 2008:138).

2.6 Metode Volume Hingga

Metode volume hingga merupakan suatu metode dalam menyelesaikan suatu permasalahan pemodelan matematika dengan suatu titik-titik diskrit yang kontinu, jarak antara titik-titik tersebut teratur membentuk suatu *grid* atau *mesh*. Menurut Apsley, metode volume hingga sangat sesuai diterapkan pada masalah aliran fluida dan aerodinamik. Pada penelitian pemodelan ini menggunakan metode volume hingga. Hal ini dikarenakan penelitian ini menggunakan aliran fluida berupa gas atau udara. Aliran fluida memiliki sifat fisis tertentu, dengan memperhatikan sifat-sifat fisis tersebut dapat dibangun pada persamaan matematika. Pada umumnya fluida memiliki hukum kekekalan massa, kekekalan energi, hukum kekekalan momentum, dan hukum fisika lain yang sesuai dengan permasalahan.

Pada Gambar 2.4 terdapat huruf kecil yaitu w , e , n , s diberikan untuk permukaan volume kendali sedangkan huruf besar yaitu W , E , N , S diberikan untuk titik yang saling berdekatan dengan yang lain. Daerah luasan masing-masing permukaan volume kendali dinotasikan A_w , A_e , A_n , dan A_s . Jika volume

kendali dinyatakan dengan V .



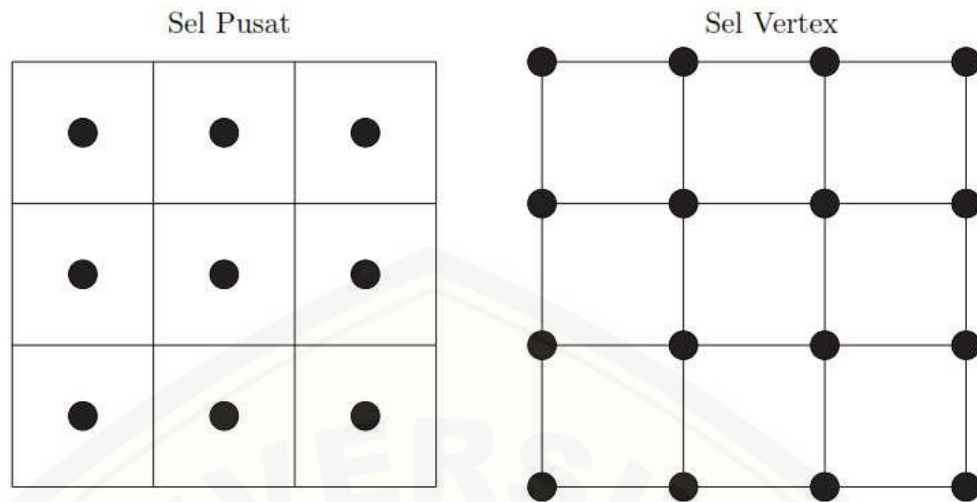
Gambar 2.4 Model Volume Kendali Dua Dimensi

Pada Gambar 2.5 menunjukkan letaknya sebuah titik pada volume kendali terpusat 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.

Pada metode volume hingga harus diketahui dengan pasti domain yang akan digunakan dan dibagi menjadi bagian-bagian atau grid-grid baik terstruktur atau tidak terstruktur. Persamaan yang terbentuk dalam *face* (sisi atau permukaan) diubah menjadi *node* (titik). Proses ini perlu dilakukan diskritisasi sehingga persamaan yang terbentuk merupakan nilai *node*.

Pemodelan matematika mengenai aliran udara pada penerima volumetrik di menara surya menggunakan teknik diskritisasi *Quadratic Upwind Interpolation Confective Kinematics* (QUICK) karena penyelesaian pemodelan matematika menggunakan metode volume hingga dan grid pada domain terstruktur serta menggunakan volume kendali dua dimensi. Prosedur dalam penyelesaian metode volume hingga menurut Apsley (dalam Saptaningtyas, 2010:7) sebagai berikut :

1. mendefinisikan bentuk geometri aliran;



Gambar 2.5 Sel Pusat dan Sel Vertex

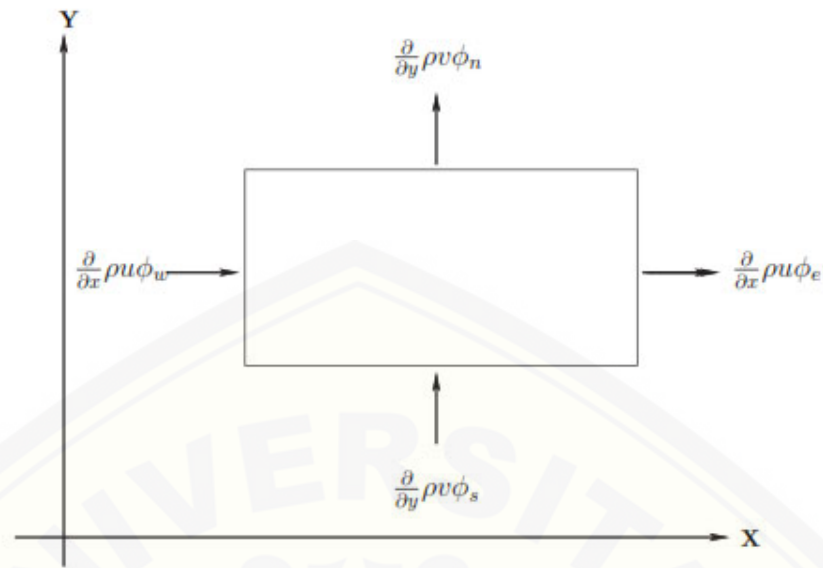
2. domain dari aliran diuraikan dalam mesh atau grid dari volume kontrol yang tidak tumpang tindih dan membentuk persamaan yang tidak dimodelkan;
3. persamaan yang didiskritkan nilainya merupakan pendekatan dari nilai masing-masing pada titik;
4. persamaan yang didiskritkan diselesaikan secara numerik.

2.6.1 Persamaan Momentum

Persamaan momentum merupakan bentuk persamaan diferensial yang menghubungkan dengan gaya-gaya yang bekerja pada volume kendali, salah satunya tekanan (p). Gaya lainnya yang terdiri dari dua jenis gaya yaitu gaya beban dan gaya permukaan. Gaya beban disebabkan oleh medan dari luar (gravitasi, magnet, elektromagnet) yang bekerja pada keseluruhan massa dalam unsur tersebut (White, 1986:209). Sedangkan gaya permukaan disebabkan oleh tegangan pada sisi permukaan volume kendali.

Fluks pada momentum terjadi pada empat sisi sesuai dengan Gambar 2.6 yaitu dua masuk dan dua keluar. F adalah gaya-gaya yang bekerja pada volume kendali yaitu *pressure* / tekanan (p), gravitasi (g), dan gaya kekentalan (μ).

Bentuk umum persamaan momentum adalah:



Gambar 2.6 Bagan Volume Kendali Persamaan Momentum

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

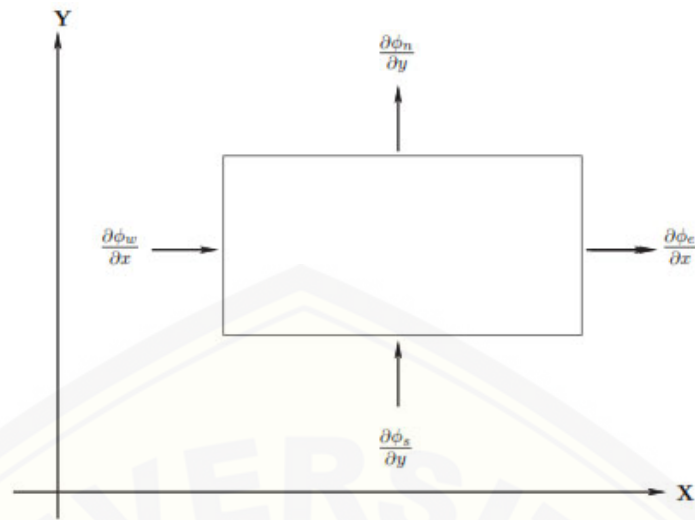
Karena objek yang diamati merupakan zat gas yang termasuk objek yang tak terlihat, maka $pure\ rate = output - input$.

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

2.6.2 Persamaan Energi

Semua persamaan diferensial dasar gerak fluida dapat diturunkan dengan meninjau sebuah volume keunsuran atau suatu sistem keunsuran (White, 1986:202). Dalam penelitian ini, sebuah volume kendali keunsuran yang letaknya tetap. Dalam penelitian ini aliran fluida merupakan aliran fluida yang turbulen sehingga persamaan energi yang dibentuk merupakan persamaan energi untuk aliran turbulen.

Fluks energi terjadi pada empat sisi sesuai dengan Gambar 2.7 , yaitu dua



Gambar 2.7 Bagan Volume Kendali Persamaan Energi

masuk dan dua keluar. S (*source*) merupakan energi sistem pada persamaan energi.

Bentuk umum persamaan energi adalah:

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

Karena objek yang diamati merupakan zat gas yang termasuk objek yang tak terlihat, maka $pure\ rate = output - input$.

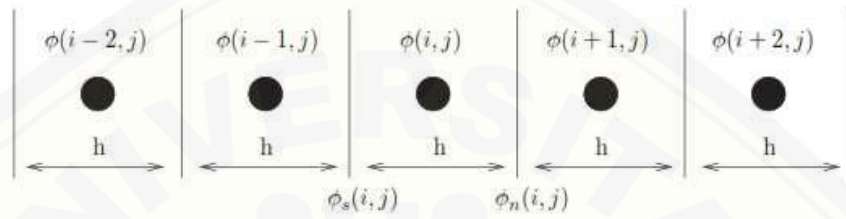
$$\frac{\partial \phi_0}{\partial t} + [output - input] = \sum S \quad (2.4)$$

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

Bentuk geometri dari aliran fluida pada masing-masing domain dibuat dalam bentuk *grid* (Siing dan Widodo, 2011). *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 bidang untuk tiga dimensi terdiri dari $\phi_w, \phi_e, \phi_s, \phi_n, \phi_b, \phi_t$ sedangkan

kontrol titik terdiri dari $\phi_W, \phi_E, \phi_S, \phi_N, \phi_B, \phi_T$. Dalam penelitian ini akan dibuat model matematika dua dimensi sirkulasi aliran udara pada penerima volumetrik di menara surya (arah sumbu x,y). Kontrol *face* untuk dua dimensi terdiri dari $\phi_w, \phi_e, \phi_s, \phi_n$ sedangkan kontrol titik terdiri dari $\phi_W, \phi_E, \phi_S, \phi_N$ (Fatahillah, 2014).

Pendiskritisasian dengan menggunakan metode *QUICK* untuk merubah nilai pada bidang menjadi nilai pada titik, diilustrasikan seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Diskritisasi QUICK

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

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

dengan bobot g_1 :

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

sedangkan bobot untuk g_2 :

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

Berdasarkan diskritisasi *QUICK* pada Gambar 2.5, maka diperoleh nilai untuk g_1 dan g_2 , yaitu:

$$g_1 = \frac{(\frac{1}{2}h)(\frac{3}{2}h)}{(h)(2h)} = \frac{3}{8} \quad (2.8)$$

$$g_2 = \frac{(\frac{1}{2}h)(\frac{1}{2}h)}{(h)(2h)} = \frac{1}{8} \quad (2.9)$$

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

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

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

$$\phi_w(i, j) = -\frac{1}{8}\phi(i-2, j) + \frac{3}{4}\phi(i-1, j) + \frac{3}{8}\phi(i, j) \quad (2.11)$$

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

$$\phi_s(i, j) = -\frac{1}{8}\phi(i, j-2) + \frac{3}{4}\phi(i, j-1) + \frac{3}{8}\phi(i, j) \quad (2.13)$$

2.8 Fluida

Menurut Victor L. Streeter dan E. Benjamin Qylic terjemahan Arko P., fluida merupakan zat yang dapat berubah bentuk secara kontinu (terus-menerus) jika memperoleh gaya. Artinya zat dapat berubah bentuk jika terdapat gaya yang mempengaruhinya. Gaya yang mempengaruhi fluida tidak bergantung besar atau kecil. Gaya tersebut dapat berupa tegangan geser, yaitu perbandingan antara besarnya gaya geser dengan luas permukaan. Gaya geser merupakan komponen gaya yang menyinggung permukaan. Fluida dibagi menjadi tiga jenis yaitu zat padat, zat cair, atau gas. Zat padat mempunyai bentuk tertentu sedangkan zat cair memiliki bentuk sesuai dengan wadahnya. Selain itu, gas dapat menyebar dan mengisi seluruh wadah yang ditempati.

2.8.1 Jenis-Jenis Fluida

Dilihat dari bentuknya, fluida dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Gas

Gas merupakan salah satu bentuk dari fluida. Gas dapat menyebar

memenuhi ruangan tempatnya berada. Gas memiliki molekul-molekul yang mampu bergerak secara bebas. Gas tidak memiliki permukaan bebas dan massanya selalu berkembang sesuai dengan bentuk ruang serta dapat dimampatkan. Salah satu contoh dari zat gas ialah asap.



Gambar 2.9 Fluida Gas

2. Cair

Zat cair memiliki sifat yang sama dengan zat gas yaitu mampu bergerak bebas serta berubah bentuk sesuai dengan tempat yang ditempati. Zat cair cenderung mempertahankan volumenya karena memiliki gaya kohesif yang relatif kuat disbanding dengan zat gas dan akan membentuk permukaan bebas. Tetapi zat cair tidak dapat dimampatkan seperti zat gas. Salah satu contoh dari zat cair adalah air.



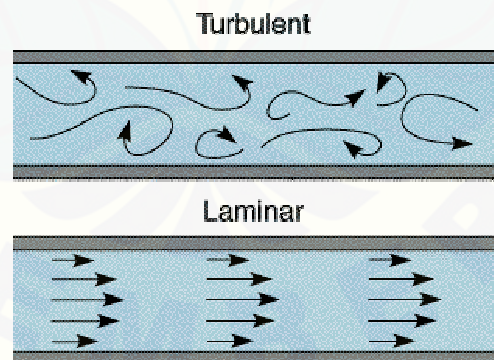
Gambar 2.10 Fluida Cair

2.8.2 Jenis-Jenis Aliran Fluida

Berdasarkan bentuk aliran fluida dibagi menjadi tiga macam yaitu aliran laminar, aliran turbulen dan transisi. Aliran laminar merupakan aliran fluida dimana partikel-partikel fluida bergerak secara teratur sesuai dengan lintasan dengan kondisi lapisan-lapisan membentuk garis alir yang tidak berpotongan satu sama lain. Salah satu contoh aliran laminar yaitu aliran air di dalam pipa. Air tersebut bergerak sepanjang pipa dan keluar dari pipa dengan arah yang tetap, jika pipa horizontal maka akan terus berjalan ke arah horizontal sepanjang pipa.

Sedangkan aliran turbulen merupakan kebalikan dari aliran laminar. Aliran turbulen merupakan aliran yang partikel bergerak tidak teratur serta kecepatan yang dapat berubah-ubah. Akibatnya partikel pada aliran turbulen diekspresikan sebagai garis alir maka garis alir partikel fluida tersebut saling berpotongan. Salah satu contoh aliran fluida turbulen yaitu udara.

Selain bentuk aliran, fluida juga dibagi menjadi dua berdasarkan waktu fluida saat mengalir yaitu *steady* dan *unsteady*. Aliran *steady* merupakan aliran fluida yang di titik dimanapun pada fluida tidak berubah terhadap waktu. Sedangkan aliran *unsteady* merupakan kebalikan dari aliran *steady*, aliran tersebut merupakan aliran fluida dimana kondisi pada titik manapun, fluida akan berubah terhadap waktu.



Gambar 2.11 Aliran Fluida

Dalam penelitian ini, udara yang mengalir pada penerima volumetrik di menara surya merupakan jenis aliran turbulen dan unsteady. Hal ini dikarena

aliran udara pada penerima volumetrik di menara surya selalu berubah-ubah setiap saat.

2.9 Menara Surya

Menara surya merupakan suatu alat tenaga surya yang menggunakan teknik *Concentrated Solar Power* (CSP). Sistem menara surya adalah menggunakan cermin atau lensa yang berada di sekitar menara berada. Lensa tersebut berfungsi untuk meneruskan radiasi matahari dengan cara memantulkan radiasi matahari ke menara surya. Lensa yang digunakan berbentuk datar. Hal ini dikarenakan biaya lensa bentuk plat datar lebih murah dibandingkan dengan lensa parabola.

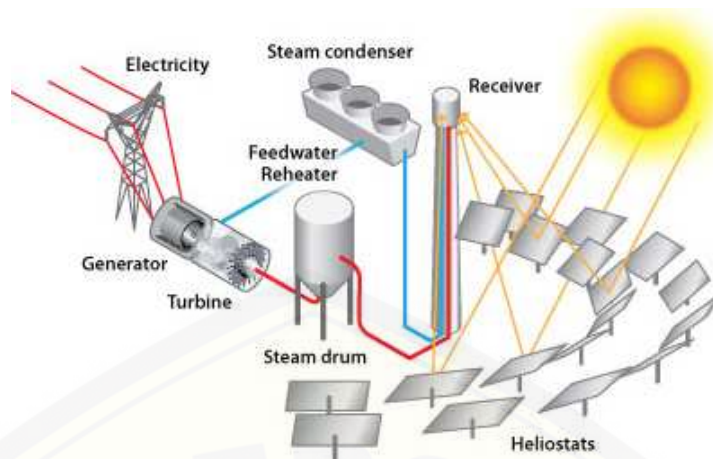
Menara surya memiliki desain awal yang menggunakan sinar yang tersimpan untuk memanaskan air serta menggunakan uap yang dihasilkan untuk daya turbin. Desain baru tersebut menggunakan cairan natrium dan sistem yang menggunakan garam cair (40% kalium nitrat, 60% natrium nitrat) sebagai fluida yang bekerja. Fluida tersebut memiliki ketahanan terhadap suhu panas, yang dapat digunakan dalam penyimpanan energi sebelum menggunakannya untuk merebus air untuk menggerakkan turbin. Desain ini juga memungkinkan untuk penyimpanan daya ketika matahari tidak bersinar. Pada Gambar 2.12 merupakan contoh menara surya.

Menurut Roldan (2016), rumus radiasi yang masuk ke dalam menara surya sesuai dengan Hukum Beer-Lambert, yaitu :

$$I(y) = I_0 \cdot \exp^{-\xi \cdot y}$$

Sedangkan untuk menentukan besarnya sudut radiasi yang masuk ke dalam menara surya menggunakan rumus 2.14.

$$\tan(\theta) = \frac{(z_f - z_h)}{\sqrt{(x_h - x_f)^2 + (y_h - y_f)^2}} \quad (2.14)$$

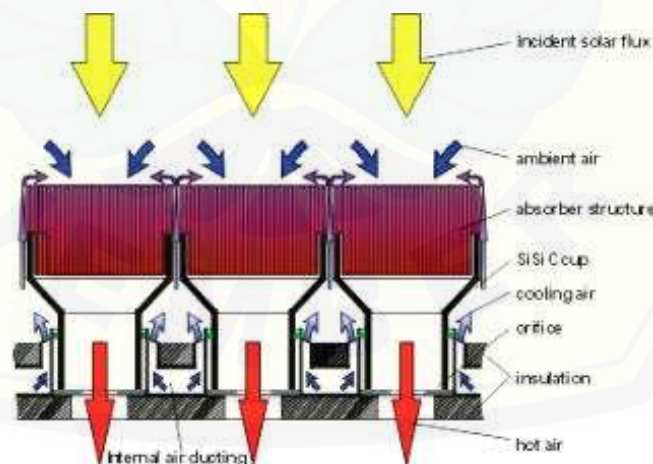


Gambar 2.12 Menara Surya

2.10 Penerima Volumetrik

Penerima volumetrik merupakan bagian dari menara surya yang berfungsi untuk meneruskan panas matahari menuju tungku penyimpanan dan mampu menahan panas hingga 1000°C . Berdasarkan Gambar 2.13, penerima volumetrik terbuka terdapat dua jalur untuk masuknya panas dan keluarnya panas.

Prinsip dari penerima volumetrik terbuka adalah udara sekitar masuk melalui *porous receiver* (penerima berpori) dimana udara tersebut dipanaskan yang kemudian akan dikeluarkan pada sisi yang berbeda dengan masuknya udara sekitar.



Gambar 2.13 Penerima Volumetrik

2.11 Algoritma dan Pemrograman *MATLAB*

2.11.1 Algoritma

Algoritma merupakan urutan dari suatu langkah yang dinyatakan secara jelas serta tidak rancu dalam pemecahan masalah (jika terdapat pemecahannya) dalam rentang waktu tertentu. Pada umumnya langkah-langkah pada algoritma dibagi menjadi tiga yaitu masukan (*input*), proses, dan keluaran (*output*).

Algoritma terdapat di dalam berbagai cabang ilmu komputer. Peran komputer disini hanyalah salah satu proses sedangkan algoritma ditulis dalam notasi bahasa pemrograman sehingga dinamakan program. Jadi program merupakan implementasi teknis algoritma yang ditulis dalam bahasa pemrograman sehingga dapat dijalankan oleh komputer.

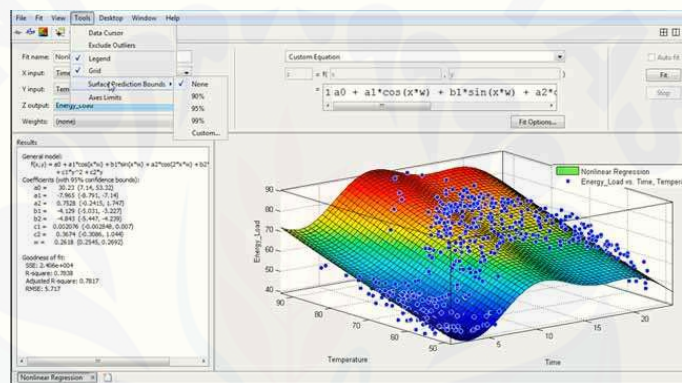
Suatu algoritma dapat dituliskan menggunakan bahasa sehari-hari, namun algoritma seperti ini masih sulit untuk langsung diterjemahkan apabila diimplementasikan ke dalam suatu bahasa pemrograman komputer. Setiap algoritma memerlukan suatu langkah "peralihan" ke suatu bahasa program ketika akan dilaksanakan dengan menggunakan komputer sehingga semakin dekat bentuk algoritma ini ke bentuk program komputer maka semakin mudah diterjemahkan. Suatu algoritma juga dapat ditulis langsung dalam bentuk "bahasa program", tetapi algoritma seperti ini hanya bisa digunakan untuk bahasa program tertentu dan terpaksa diubah kembali untuk disesuaikan apabila akan diimplementasikan dengan bahasa program yang lain (Suarga, 2006: 3-4).

2.11.2 *MATLAB* 7.0

MATLAB merupakan perangkat lunak yang sangat cocok sebagai alat komputasi yang penggunaannya melibatkan matriks dan vektor (Siang, 2004). Selain itu, *MATLAB* merupakan bahasa yang kompleks dalam teknik komputasi. *MATLAB* kepanjangan dari Matrix Laboratory karena elemen data dasar yang digunakan yaitu sebuah matriks. *MATLAB* merupakan sebuah software yang digunakan dalam analisis serta komputasi data numerik, menganalisis data, mengembangkan algoritma, melakukan simulasi dan pemodelan serta menghasilkan tampilan grafik dan antarmuka grafikal. Selain itu, *MATLAB* juga dapat menampilkan data dalam bentuk dua dimensi maupun tiga dimensi. Pada *MATLAB* terdapat

tools yang berfungsi dalam menyelesaikan permasalahan umum berbasis matematika. Fungsi MATLAB yang banyak digunakan yaitu:

- pengembangan dan algoritma;
- matematika dan komputasi;
- pemrograman modeling, simulasi, pembuatan prototipe;
- analisis data, eksplorasi dan visualisasi;
- analisis numerik dan statistik;
- pengembangan aplikasi teknik.



Gambar 2.14 Tampilan MATLAB
www.mathworks.com

Dalam penelitian ini, analisis komputasi numerik pada aliran udara untuk penerima volumetrik di menara surya dengan metode volume hingga menggunakan MATLAB 7.0.

2.11.3 Metode Gauss Seidell

Secara umum, penyelesaian suatu persamaan linier dapat digunakan menggunakan dua metode yaitu metode langsung dan metode iteratif. Contoh metode langsung yaitu metode invers, eliminasi Gauss, dan dekomposisi LU. Sedangkan metode iteratif merupakan metode dengan penentuan nilai awal (x_0) untuk

membangun urutan aproksimasi terbaik dalam pemecahan eksak. Contoh metode interatif yaitu iterasi Jacob, iterasi Gauss-Seidell, dan iterasi SOR.

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

$$AX = B \quad (2.15)$$

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

$$QX = (Q - A)X + B \quad (2.16)$$

Selanjutnya, dapat dituliskan dalam bentuk iterasi ke- k :

$$QX^{(k)} = (Q - A)X^{(k-1)} + B, k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.17)$$

Sebuah matriks A dapat dituliskan dalam bentuk $A = L + D + U$, dengan L merupakan matriks segitiga bawah, D merupakan matriks diagonal, dan U merupakan matriks segitiga atas. Iterasi Gauss-Seidell dipilih $Q = D + L$, tetapi pada iterasi SOR dipilih $Q = \frac{1}{\omega}D + L$ dengan ω merupakan faktor skala. Sehingga persamaan (2.17) menjadi:

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} X^{(k)} &= (1 - \omega)X^{(k-1)} - \omega D^{-1} L X^{(k)} - \omega D^{-1} U X^{(k-1)} + \omega D^{-1} B \\ X^{(k)} &= (1 - \omega)X^{(k-1)} - \omega D^{-1} (L X^{(k)} + U X^{(k-1)} - B) \end{aligned} \quad (2.18)$$

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

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + \dots + a_{3n}x_n &= b_3 \\ &\vdots \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + a_{n3}x_3 + \dots + a_{nn}x_n &= b_n \end{aligned} \quad (2.19)$$

dapat dituliskan dalam bentuk pemecahan mulai x_1 sampai x_n seperti berikut

:

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

dengan $k = \text{iterasi}$.

Iterasi SOR merupakan pengembangan iterasi Gauss-Seidel. Pada iterasi Gauss-Siedel nilai x_1 yang telah diperoleh dimasukkan kedalam x_2 yang akan dicari, karena nilai x_1 yang diperoleh mendekati nilai eksak. Kemudian untuk mencari nilai x_3 maka substitusi nilai x_1 dan x_2 yang telah diperoleh. Dan seterusnya hingga memperoleh akar dari sistem persamaan tersebut. Sehingga dalam mencari nilai x_i menggunakan iterasi Gauss-Seidel dengan langkah $k = 1, 2, 3, \dots$ adalah

$$x_i^k = \frac{1}{a_{ii}} \left(b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij}x_j^k - \sum_{j=1+1}^n a_{ij}x_j^{k-1} \right) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.21)$$

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

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

Pada Persamaan (2.18) dan Persamaan (2.22), 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. Untuk $0 < \omega < 1$, proses tersebut dinamakan metode *underrelaxation* dan dapat digunakan untuk memperoleh konvergensi dari beberapa sistem persamaan linier yang tidak konvergen oleh metode Gauss-Seidel. Untuk $\omega > 1$, prosesnya dinamakan metode *overrelaxation* dan dapat digunakan untuk mempercepat konvergensi bagi sistem persamaan linier yang konvergen oleh metode Gauss-Seidel. Penelitian ini menggunakan iterasi Gauss-Seidel, dengan menggunakan nilai awal x_0 untuk membangun urutan aproksimasi dalam pemecahan eksak.

2.11.4 Galat atau *Error*

Galat atau *error* (kesalahan) merupakan selisih antara nilai sejati (nilai sebenarnya) dengan nilai pendekatannya (aproksimasi). Nilai pendekatan diperoleh menggunakan metode numerik. Nilai tersebut didapatkan dengan proses iterasi (*looping*) untuk mendapatkan nilai yang mendekati 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.

Galat dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Galat pemotongan merupakan galat yang ditimbulkan oleh pembatasan

jumlah komputasi yang digunakan pada proses metode numerik. Banyak metode dalam metode numerik yang penurunan rumusnya menggunakan proses iterasi yang jumlahnya tak terhingga, sehingga untuk membatasi proses perhitungan, jumlah iterasi dibatasi sampai langkah ke n . Hasil perhitungan sampai langkah ke n akan menjadi hasil hampiran dan nilai perhitungan langkah n keatas akan menjadi galat pemotongan. Galat pemotongan akan menjadi sangat kecil ekali jika nilai n di perbesar. Konsekuensinya jumlah proses perhitungan semakin banyak.

2. Galat pembulatan merupakan galat yang ditimbulkan oleh keterbatasan komputer dalam penyajian bilangan real. Hampir semua proses perhitungan metode numerik menggunakan bilangan real. Penyajian bilangan real yang panjangnya tak hingga tidak dapat disajikan secara tepat sehingga terjadilah galat pembulatan.

Selain dari definisi diatas dapat juga digolongkan empat jenis galat yaitu:

1. **Galat Mutlak** adalah selisih numerik antara besar nilai sebenarnya dengan nilai aproksimasinya. Jadi, bila x besar nilai yang sebenarnya, dan x_1 nilai pendekatannya (aproksimasinya), maka galat mutlak (*Absolut Error*) E_a didefinisikan dengan:

$$E_a = x - x_1 = \delta x$$

2. **Galat Relatif** (E_a) didefinisikan dengan:

$$E_R = \frac{E_a}{x} = \frac{\delta x}{x}$$

Kemudian persentase galat dihitung dari galat relatif yang diberikan dalam bentuk :

$$P_R = 100E_R$$

3. **Galat Global**

Misal $u = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ adalah fungsi dengan variable banyak $x_i = (1, 2, \dots, n)$, dan misalkan galat dari tiap x_i adalah Δx_i . Galat Δu dan u di berikan dalam

bentuk:

$$u + \Delta u = f(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2, \dots, x_n + \Delta x_n)$$

Perluasan ruas kanan dari galat global tersebut oleh deret Taylor menghasilkan :

$$\begin{aligned} u + \Delta u = & f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \sum_{i=1}^n \frac{\delta f}{\delta(x_i)} \Delta x_i \\ & + \text{semua suku yang memuat } (\Delta x_i)^2 \\ & + \text{semua suku yang lain} \end{aligned}$$

Anggap bahwa galat dalam x_i adalah kecil dan $\frac{\Delta x_i}{x_i} \ll 1$. Kemudian semua suku setelah suku ke dua pada ruas kanan persamaan diatas diabaikan, maka persamaan diatas menjadi:

$$\Delta u \approx \sum_{i=1}^n \frac{\delta f}{\delta x_i} \Delta x_i = \frac{\delta f}{\delta x_1} \Delta x_1 + \frac{\delta f}{\delta x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\delta f}{\delta x_n} \Delta x_n$$

Formula diatas bentuknya sama dengan diferensial total dari u . Formula untuk galat relatif adalah sebagai berikut:

$$E_R = \frac{\delta u}{\delta x_1} \frac{\Delta x_1}{u} + \frac{\delta u}{\delta x_2} \frac{\Delta x_2}{u} + \dots + \frac{\delta u}{\delta x_n} \frac{\Delta x_n}{u}$$

4. Galat dalam Aproksimasi deret

Galat yang ada dalam aproksimasi suatu deret dapat dievaluasi oleh sisa sesudah suku-suku ke n . Pandang deret Taylor untuk $f(x)$ pada $x = a$ yang diberikan dalam bentuk:

$$\begin{aligned} f(x) = & f(a) + (x - a)f'(a) + \frac{(x - a)^2}{2!} f''(a) + \dots + \frac{(x - a)^{n-1}}{(n - 1)!} f^{n-1}(a) \\ & + R_n(x) \end{aligned}$$

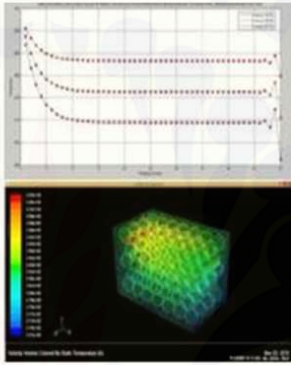
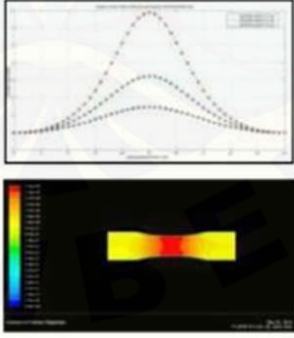
Suku terakhir dalam deret di atas dikenal dengan sebutan suku sisa deret

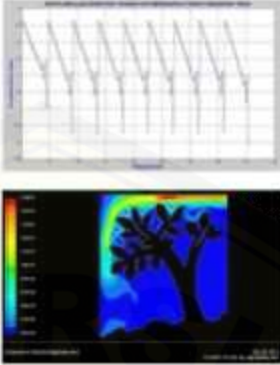
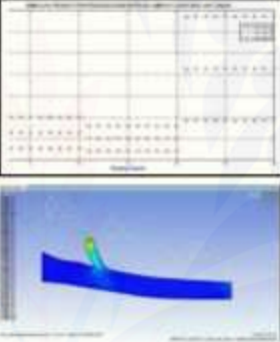
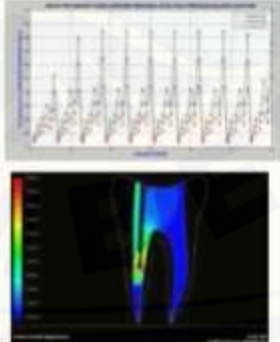
taylor yang didefinisikan sebagai berikut:

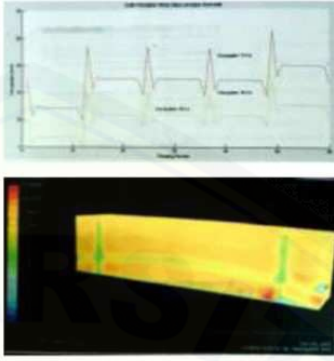
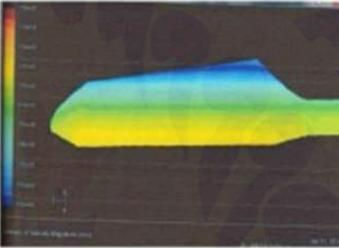
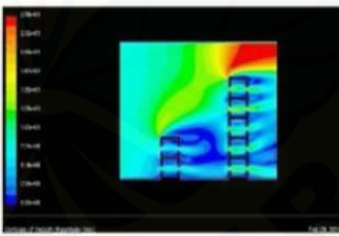
$$R_n(x) = \frac{(x - a)^n}{n!} f^n(a), \quad a < \alpha < x$$

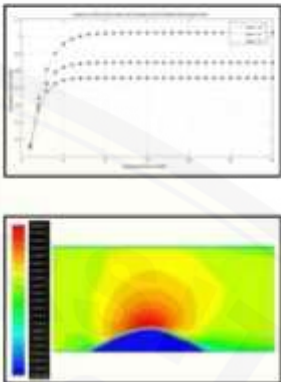
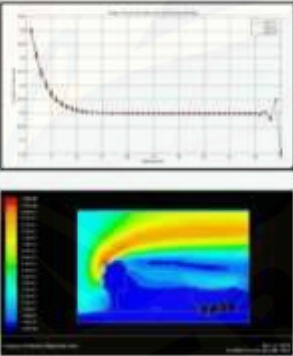
Untuk suatu barisan yang konvergen, suku-suku sisa akan mendekati nol untuk $n \leftarrow \infty$. Jadi bila mengaproksimasikan $f(x)$ oleh n suku pertama dari deret tersebut maka galat maksimum yang dibuat dalam aproksimasi tersebut diberikan oleh suku sisa (Jack, 2006: 7-9).

Beberapa contoh penggunaan CFD dan FLUENT dalam beberapa penelitian murni dapat dilihat di tabel berikut.

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

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

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

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

BAB 3. METODE PENELITIAN

Pada bagian ini akan dipaparkan metode penelitian yang dilakukan oleh peneliti. Metode penelitian berfungsi untuk memandu peneliti tentang urutan yang akan dilakukan. Bagian ini mencakup desain penelitian yang berupa jenis penelitian, prosedur penelitian, definisi operasional, tempat penelitian, metode pengumpulan data dan analisis data.

3.1 Jenis Penelitian

Berdasarkan jenisnya, penelitian perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya merupakan penelitian murni. Menurut Syahrizal (2006), penelitian murni merupakan penelitian terhadap sesuatu karena ada perhatian dan keinginan terhadap hasil suatu aktifitas. Hasil dari penelitian tersebut dapat berupa pengetahuan umum dan pengertian-pengertian tentang alam serta hukum-hukumnya. Pada penelitian mengenai proses perpindahan panas pada penerima volumetrik di menara surya, peneliti memodelkan aliran tersebut menggunakan metode volume hingga sehingga didapat hasil atau data-data yang mendekati keadaan sebenarnya.

3.2 Prosedur Penelitian

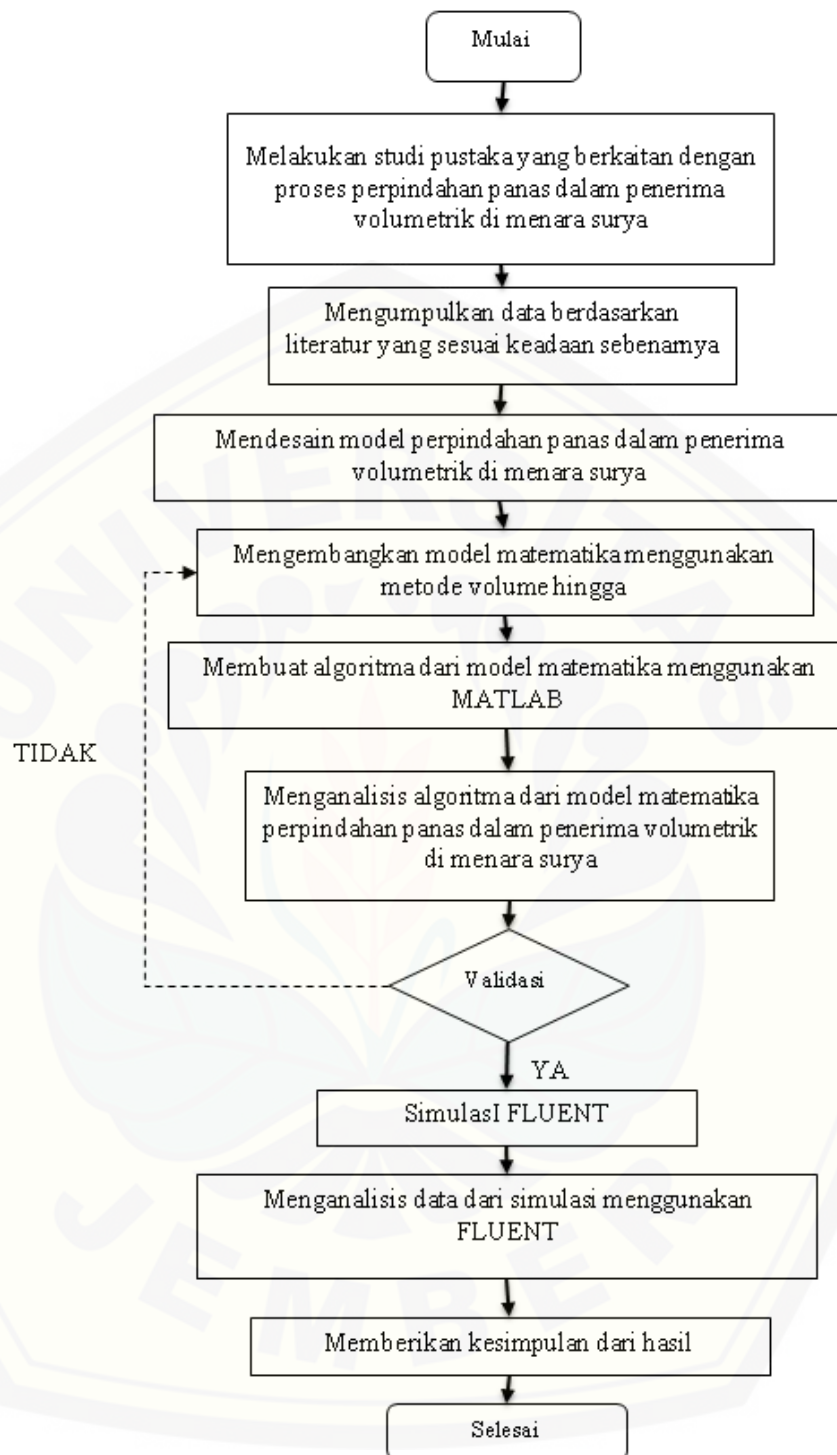
Dalam penelitian membutuhkan langkah-langkah (prosedur penelitian) yaitu suatu tahapan yang dilakukan sampai diperoleh data-data untuk dianalisis hingga mencapai suatu kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian. Prosedur penelitian terdiri dari rancangan penelitian dan teknik penelitian. Rancangan penelitian merupakan rencana yang menggambarkan atau menjelaskan yang hendak diteliti serta bagaimana penelitian dilaksanakan (Sudjana, 1989:469). Sedangkan teknik penelitian merupakan tahapan yang dilakukan untuk memperoleh

data-data untuk dianalisis hingga dicapai suatu kesimpulan dalam menyelesaikan pemodelan matematika dengan metode numerik.

Penelitian terlebih dahulu mempersiapkan segala sesuatu rancangan yang berhubungan dengan penelitian. Rancangan penelitian merupakan alur dari suatu kegiatan peneliti dalam memecahkan masalah, penyusunan dilakukan dengan cermat dan matang. Hal ini dilakukan agar membantu peneliti maupun orang yang membaca hasil penelitian dapat memahami masalah serta cara mengatasinya. Selain itu, rancangan dapat dikatakan sebagai skema atau bagan karena rencana ini memuat peta kegiatan yang akan dilaksanakan dan digunakan sebagai petunjuk. Teknik penelitian merupakan langkah-langkah yang dilakukan hingga diperoleh data-data untuk dianalisis sampai menghasilkan suatu kesimpulan sesuai dengan langkah-langkah dalam menyelesaikan pemodelan matematika secara numerik. Secara umum, langkah-langkah penelitian dapat diuraikan sebagai berikut:

1. melakukan studi pustaka tentang perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya;
2. mengumpulkan data-data terkait dengan perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya;
3. mendesain model matematika dari persamaan energi dan persamaan momentum;
4. mengembangkan model matematika proses perpindahan panas pada penerima volumetrik di menara surya menggunakan metode volume hingga;
5. membuat algoritma dari model matematika menggunakan MATLAB;
6. menganalisis algoritma dari model matematika perpindahan panas pada penerima volumetrik menggunakan MATLAB;
7. simulasi model perpindahan panas di penerima volumetrik menggunakan FLUENT;
8. menganalisis hasil dari simulasi proses perpindahan panas menggunakan FLUENT;
9. menarik kesimpulan dari hasil simulasi.

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



KETERANGAN:

▭ = TERMINATOR

◇ = Seleksi

→ = Aliran Proses

▭ = Proses

Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

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 merupakan sekumpulan fungsi yang menyatakan hubungan antara beberapa peubah yang berbeda. Peubah tersebut menyatakan variabel-variabel yang mempengaruhi dalam proses penelitian. Pe-modelan matematika merupakan suatu kejadian atau fenomena yang dituliskan dalam bahasa matematika yang mengandung variabel-variabel yang mempengaruhi kejadian tersebut.

2. Menara Surya

Menara Surya merupakan suatu tenaga surya yang menggunakan teknik *Concetrated Solar Power* (CSP) yang digunakan untuk menampung panas matahari sebagai daya.

3. Penerima Volumetrik

Penerima volumetrik merupakan bagian pada menara surya yang memiliki peranan dalam pembentukan energi listrik yang berasal dari udara yang masuk ke dalam penerima volumetrik.

4. CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

CFD (*Computational Fluid Dynamics*) merupakan sistem analisis yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas serta fenomena yang terkait dengan reaksi kimia menggunakan simulasi berbasis komputer.

5. Metode Volume Hingga

Metode volume hingga merupakan salah satu metode yang digunakan dalam pemodelan matematika. Metode volume hingga sesuai dengan penerapan aliran fluida.

6. MATLAB

MATLAB merupakan *software* yang digunakan untuk analisis dan komputasi data numerik. *Software* tersebut mampu menyelesaikan perhitungan yang rumit menggunakan bahasa pemrograman.

7. FLUENT

FLUENT merupakan suatu aplikasi dalam mensimulasikan suatu objek pemodelan sehingga memberi gambaran jelas mengenai objek. FLUENT juga merupakan salah satu aplikasi yang menggunakan konsep CFD yang menggunakan metode volume hingga.

3.4 Tempat Penelitian

Tempat penelitian merupakan tempat yang menjadi pusat pelaksanaan suatu kegiatan penelitian. Tempat yang digunakan untuk penyelesaian numerik dan pemodelan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dilakukan dilaboratorium matematika gedung III FKIP Universitas Jember serta laboratorium Program Studi Sistem Informasi Universitas Jember. Tempat yang digunakan memiliki sarana dan prasarana yang mendukung yaitu dengan adanya komputer yang dilengkapi dengan program MATLAB untuk penyelesaian numerik dan FLUENT sebagai simulasi pemodelan.

3.5 Metode Pengumpulan Data

Menurut Nazir (2015:174), metode pengumpulan data merupakan prosedur yang sistematis dan standar untuk memperoleh data yang diperlukan. Metode yang tepat mampu membuat penelitian menjadi sempurna. Data yang digunakan dalam penelitian harus sesuai dengan fakta yang akan diteliti.

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian yaitu metode dokumentasi. Metode dokumentasi merupakan metode pengumpulan data yang berupa hal-hal atau variabel yang terdiri dari catatan, transkrip, buku, surat kabar, majalah, prasasti, notulen rapat, agenda, dan lain sebagainya (Arikunto, 2006:234). Pada penelitian ini, peneliti memperoleh data yang diinginkan dengan mempelajari buku dan jurnal ilmiah mengenai aliran udara pada penerima volumetrik di menara surya.

3.6 Data dan Analisis Data

Analisis data merupakan bagian akhir dari suatu penelitian. Data yang diperoleh selanjutnya akan diklasifikasikan dan diorganisasikan secara sistematis

serta diolah dan dianalisis sesuai dengan rancangan penelitian yang telah ditetapkan. Analisis data merupakan suatu langkah yang menentukan pengolahan data sehingga menghasilkan kesimpulan yang akurat.

Setelah mencari model perpindahan panas pada penerima volumetrik di menara surya, langkah berikutnya menyelesaikan menggunakan metode volume hingga. Kemudian, mendiskritisasi dengan teknik QUICK, hingga didapatkan matriks yang menyatakan persamaan secara numerik menggunakan MATLAB. Dalam penyelesaian ini akan didapatkan penyelesaian yang konvergen sehingga mendekati penyelesaian eksak dari persamaan diferensialnya.

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

Error yang digunakan dalam penelitian adalah Error Relative. Penghitungan *error relatif* menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Error relatif} = \left| \frac{V_{(n-1)} - V_n}{V_n} \right| \quad (3.1)$$

dengan:

$V_{(n-1)}$ = nilai tebakan awal

$V_{(n)}$ = nilai numerik

Batasanya untuk *error* adalah 0,01. *Error* tersebut menggambarkan akurasi yang baik karena kesalahan yang terjadi cukup kecil yaitu sebesar 1%. Setelah melakukan simulasi model matematika perpindahan panas pada penerima volumetrik di menara surya, maka keakurasian model tersebut dapat ditentukan menggunakan error relatif. Perpindahan panas pada penerima volumetrik di menara surya disimulasikan dengan FLUENT. Output berupa gambar kontur perpindahan panas pada penerima volumetrik di menara surya sehingga dapat dilihat secara nyata perubahan perpindahan panas yang terjadi pada penerima volumetrik di menara surya.

Apabila telah mendapatkan hasil dari MATLAB berupa hasil output perpindahan panas pada penerima volumetrik di menara surya dan FLUENT berupa gambaran perpindahan panas pada penerima volumetrik di menara surya, maka peneliti akan mendeskripsikan secara kualitatif.



BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan:

1. Model matematika perpindahan panas pada penerima volumetrik di menara surya, merupakan persamaan yang menyatakan persamaan momentum dan persamaan energi yang bergantung pada kecepatan angin, diselesaikan secara numerik dengan metode volume hingga dengan teknik diskritisasi *QUICK*.

$$\begin{aligned}
 & \phi_e \left(\rho \eta u \Delta y \Delta t - \frac{\rho^2 \Delta x \Delta y^2 \Delta t}{\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} \right) \\
 & + \phi_w \left(\frac{\rho^2 \Delta x \Delta y^2 \Delta t}{\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} - \rho \eta u \Delta y \Delta t \right) \\
 & + \phi_n \left(\rho \eta v \Delta x \Delta t - \frac{\rho^2 \Delta y \Delta x^2 \Delta t}{\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} \right) \\
 & + \phi_s \left(\frac{\rho^2 \Delta y \Delta x^2 \Delta t}{\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} - \rho \eta v \Delta x \Delta t \right) \\
 & = -P \Delta y \Delta t - P \Delta x \Delta t + 2\mu \frac{u}{\Delta x} \Delta y \Delta t + 2\mu \frac{v}{\Delta y} \Delta x \Delta t \\
 & + \rho g \Delta y \Delta t + \rho g \Delta x \Delta t - \bar{u} d \Delta y \Delta t - \bar{v} d \Delta x \Delta t
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

2. Pada proses perpindahan panas dalam penerima volumetrik berdasarkan kecepatan angin 2 m/s mengalami kenaikan temperatur sebesar 659.38°C, temperatur penerima volumetrik dengan kecepatan angin 2.5 m/s mengalami peningkatan sebesar 529.72°C dan temperatur pada penerima volumetrik dengan kecepatan angin 3 m/s mengalami peningkatan sebesar 166.1°C. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan angin maka semakin menurun temperatur di dalam penerima volumetrik.
3. Pada proses perpindahan panas dalam penerima volumetrik, diperoleh tem-

peratur dalam penerima volumetrik berdasarkan temperatur sekitar 27°C mengalami kenaikan sebesar 25.722°C , temperatur dalam penerima volumetrik berdasarkan temperatur 32°C mengalami kenaikan sebesar 242.27°C dan temperatur dalam penerima volumetrik berdasarkan 37°C mengalami kenaikan sebesar 768.55°C . Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar temperatur sekitar menara surya maka semakin besar temperatur dalam penerima volumetrik.

4. Persamaan perpindahan penerima volumetrik di menara surya menggunakan metode volume hingga adalah model yang efektif dalam menyelesaikan masalah perpindahan panas berdasarkan kecepatan angin dan temperatur sekitar dengan tingkat toleransi kesalahan perhitungan dibawah 0.01 yaitu 0.009675 dan 0.001366.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai proses perpindahan panas pada penerima volumetrik di menara surya:

1. Pemodelan perpindahan panas pada penerima volumetrik menggunakan metode volume hingga dapat dikembangkan dalam penelitian dengan menganalisis faktor lain dari perpindahan panas pada penerima volumetrik;
2. pemodelan perpindahan panas pada penerima volumetrik di menara surya dapat dikembangkan lagi dengan metode yang lain;
3. Pada simulasi perpindahan panas pada penerima volumetrik di menara surya dapat dilakukan dengan bantuan *software* simulasi selain *MATLAB* dan *FLUENT*.

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, Suharsimi. 2006. *Prosedur Penelitian*. Jakarta: PT. Asdi Mahasatya.
- Arhami, M. dan Desiani, A. 2004. *Pemrograman Matlab*. Yogyakarta: Andi.
- Aspley, D.D. 2007. *Quantitative Properties of F.D. Schemes, Lecture handout: CFD*. Manchester: University of Manchester.
- Dafik. 1999. *Matlab Dalam Matematika*. Jember: FKIP.
- Djamarah, Syaiful Bahri dan Aswan Zain. 2010. *Strategi Belajar Mengajar*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Fatahillah, Dafik, EE Riastutik, Susanto. 2014. *The Analysis of Air Circulation on Coffe Plantation Based on the Level of Plants Roughness and Diamond Ladder Graph Cropping Pattern using Finite Volume Method*. [Online]. Jember: University of Jember.
- Fatahillah, Arif. 2014. *Jurnal Kadikma: Analisis Numerik Profil Sedimentasi Pasir pada Pertemuan Dua Sungai Berbantuan Software Fluent*.
- Fatahillah, Dafik, Susanto. 2014. *Analisis Kecepatan Aliran Udara pada Gedung Bertingkat Karena Pengaruh Penghalang Didepannya*. Kadikma, No.2, Vol.6, hal 75-82.
- Hajiri, Muhammad Isra. 2016. *Record and Library Journal. Users Satisfaction in Using the Central Library of IAIN Antasari Banjarmasin*. Vol 2. No 1 Hal 91-104.
- Iswanto, Ripno. 2012. *Pemodelan Matematika Aplikasi dan Terapannya*. Graha Ilmu: Yogyakarta.
- Jack. 2006. *Metode Numerik*. Lampung: UNILA.
- Jember, Universitas. 2012. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah Universitas Jember*. Jember: Jember University Press.
- Koesnandar. 2006. *Pengembangan Bahan Ajar*. Jakarta: Pustekon

- L., Antonio. 2011. *Volumetric receivers in Solar Thermal Power Plants with Central Receiver System technology: A review*. No.5, Vol.85, hal 891-910.
- Lovegrove, K. and Stein, W. 2012. *Concentrating Solar Power Technology: Principles, Development and Applications*. Oxford: Woodhead Publishing.
- Munson, Bruce R., dkk. 2004. *Mekanika Fluida Edisi 4*. Jakarta: Erlangga.
- Pitz-Paal, Robert., dkk. 2013. *Concentrating Solar Power in Europe, the Middle East and North Africa: Achieving Its Potential*.
- Roldan, M.I., Reche, J.F., and Ballestrin, J. 2016. *Computational fluid dynamics evaluation of the operating conditions for a volumetric receiver installed in a solar tower*. Spain: Elsevier.
- Romero, Manuel., dkk. 2016. *An Update on Solar Central Receiver Systems, Projects, and Technologies*.
- Sharma, P. , et al. 2013. *On the design and evaluation of open volumetric air receiver for process heat applications*.
- Siang, J.J. 2004. *Jaringan Syarat Tiruan dan Pemrogramannya menggunakan MATLAB*. Yogyakarta: ANDI
- Sudjana dan Ibrahim.1989.*Penelitian dan Penilaian Pendidikan*. Bandung: Sinar Baru.
- Sujana. 2009. *Dasar-Dasar Proses Belajar Mengajar*. Bandung: Sinar Baru Algensindo
- Supit, Luntungan, Maluegha. 2014. *Jurnal Simulasi Numerik Aliran Fluida Dalam Penstok Dengan Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Jurnal Online Teknik Mesin, No.2, Vol.3.
- Streeter, V.L. and Wylie, E.B. 1985. *Mekanika Fluida*. (Edisi Delapan Jilid 1). Alih Bahasa oleh Arko Prijono. 1986. Jakarta: Erlangga.
- Syah, A.N.A. 2006. *Mengenal Lebih Dekat Biodiesel Jarak Pagar Bahan Bakar Alternatif yang Ramah Lingkungan*. Jakarta: Agro Media Pustaka. [online]

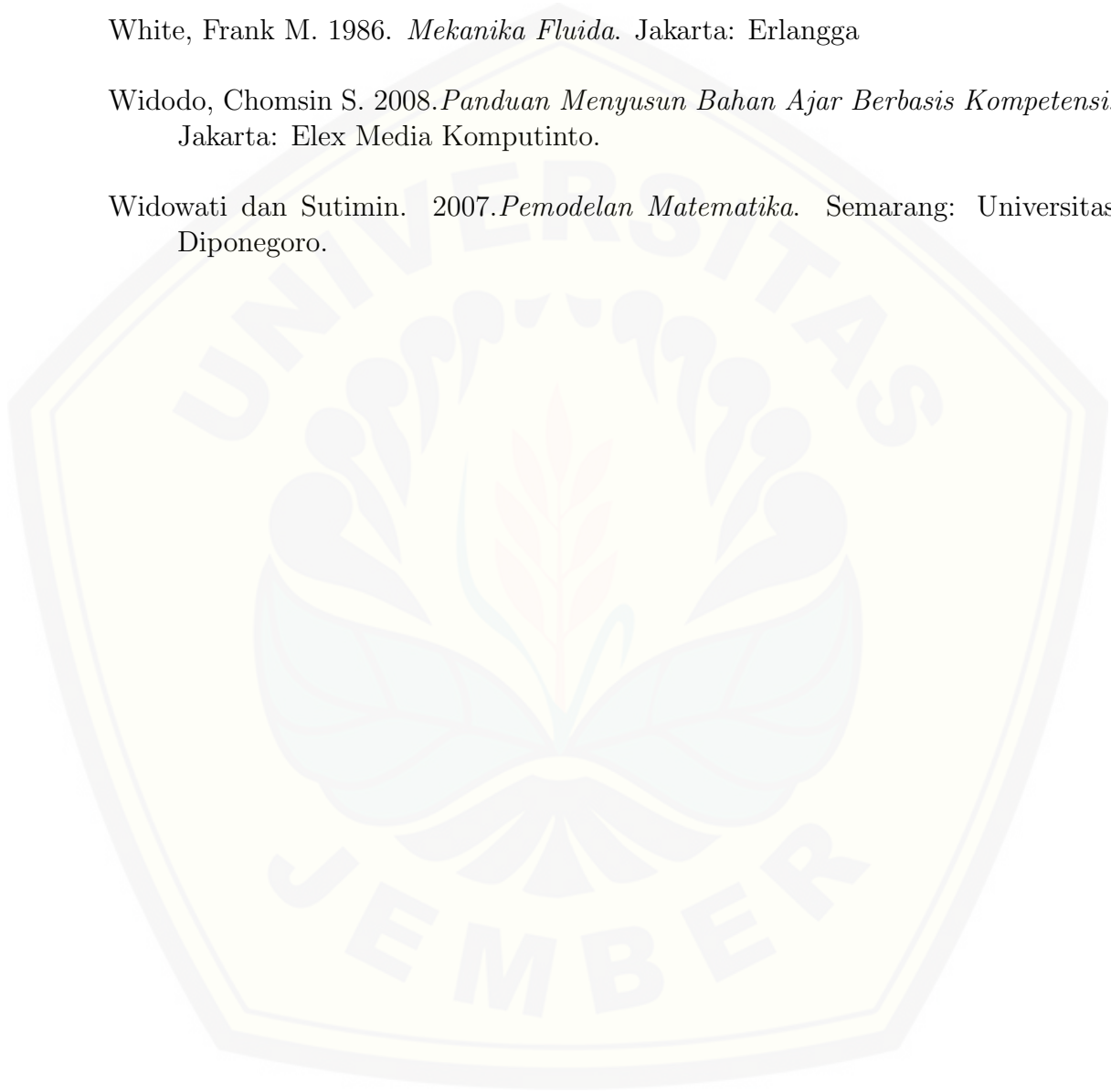
Syawal, Muhammad. 2016. E-Journal Acta Diurna. *Pemanfaatan Jasa Layanan Koleksi Buku Tandon (Reservation) Oleh Mahasiswa Di UPT Perpustakaan UNSRAT*. Vol 5. No 5.

Tuakia, Firman. 2008. *Dasar-Dasar CFD Menggunakan FLUENT*. Bandung: Informatika

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

Widodo, Chomsin S. 2008. *Panduan Menyusun Bahan Ajar Berbasis Kompetensi*. Jakarta: Elex Media Komputinto.

Widowati dan Sutimin. 2007. *Pemodelan Matematika*. Semarang: Universitas Diponegoro.



Matriks Penelitian

JUDUL	PERMASALAHAN	VARIABEL	INDIKATOR	SUMBER DATA	METODE PENELITIAN
<p>Analisis Model Matematika Pada Perpindahan Panas Konveksi Penerima Volumetrik di Menara Surya Menggunakan Metode Volume Hingga Dan Sebagai Monograf</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bagaimana model matematika pada perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya menggunakan metode volume hingga? 2. Bagaimana proses perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya berdasarkan kecepatan angin? 3. Bagaimana proses perpindahan panas dalam penerima volumetrik berdasarkan temperatur sekitar menara surya? 4. Bagaimana efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya? 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Perpindahan panas 2. Penerima Volumetrik 3. Metode Volume Hingga 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menentukan model matematika pada perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya menggunakan metode volume hingga. 2. Mengetahui proses perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya berdasarkan kecepatan angin. 3. Mengetahui proses perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya berdasarkan temperatur sekitar. 4. Mengetahui efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis perpindahan panas dalam penerima volumetrik di menara surya 	<p>Kepustakaan</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Murni



LAMPIRAN A. FORMAT *PROGRAMMING* MATLABA.1 Format *Programming* Simulasi Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik di Menara Surya Berdasarkan Kecepatan Angin Menggunakan Metode Gauss - Seidell

```

clear all; clc;

disp('-----');
disp('                By : Putri Nur Amalina                ');
disp('                130210101058                            ');
disp('    SIMULASI PERPINDAHAN PANAS PADA PENERIMA VOLUMETRIK    ');
disp('                Menggunakan Metode Gauss Seidell          ');
disp('-----');
%TAHAP INPUT
%m=input('masukkan diskritisasi sumbu x = ');
%n=input('masukkan diskritisasi sumbu y= ');
m=50;
n=1;
Ubar1=2;
Ubar2=3;
dUbar=(Ubar2-Ubar1)/2;    %kecepatan angin searah sumbu-x (m/s)
xall_plot=[];
X0=zeros(m,1);
X0(1:1:m)=90;
tol=0.01;
%TAHAP INISIALISASI
rho=1.2                    %massa jenis udara (kg/m3)
miu=1.6*(10^-5);          %viskositas udara (kg/m s)
UR=0.3001;
VR=1.838;
Vbar=2;                    %kecepatan angin searah sumbu-y(m/s)
deltat=0.0021;
deltax=0.0299;
deltay=0.0941;
gr=9.8;                    %percepatan gravitasi(m/s2)
Pt=10;                     %tekanan (N/m2)
kons=0.009;                %konduktivitas(W/m-C)
dia=0.239;
mass=7.5;
Cpfl=2.05;                 %kapasitas panas spesifik(J/kg-C)
Tout=400;                  %temperatur keluar(K)
Tin=75;

```

```

G0=5.78; %radiasi(W/m2)
Al=0.99; %luasan(m2)
etha=(mass*Cpfl*(Tout-Tin))/(G0*Al);
Xall_plot=[];
N=50; %iterasi maksimal
for Ubar=Ubar1:dUbar:Ubar2; % kecepatan angin sumbu x
    X_all=[];
    %TAHAP PENDEFINISIAN MATRIKS
    A=[((1/8)*rho*etha*UR*deltay*deltat)-(((rho^2)*deltax*(deltay^2)*
deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-((kons*deltay*deltat)/deltax)-(2*
kons*deltat)-((kons*deltax*deltat)/deltay))))];
    B=[-((7/8)*rho*etha*UR*deltay*deltat)+((7*(rho^2)*deltax*
(deltay^2)*deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-((kons*deltay*deltat)/
deltax)-(2*kons*deltat)-((kons*deltax*deltat)/deltay))))];
    C=[((3/8)*rho*etha*UR*deltay*deltat)+((3/8)*rho*etha*VR*deltax*
deltat)-((3*(rho^2)*deltax*(deltay^2)*deltat)/(8*((rho*deltax*
deltay)-((kons*deltay*deltat)/(deltax))-(2*kons*deltat)-((kons*
deltax*deltat)/(deltay)))))-((3*(rho^2)*(deltax^2)*deltay*deltat)/
(8*((rho*deltax*deltay)-((kons*deltay*deltat)/(deltax))-(2*kons*
deltat)-((kons*deltax*deltat)/(deltay)))));
    D=[((3/8)*rho*etha*UR*deltay*deltat)-((3*(rho^2)*deltax*(deltay^2)
*deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-((kons*deltay*deltat)/(deltax))-
(2*kons*deltat)-((kons*deltax*deltat)/(deltay)))));
    E=[((1/8)*rho*etha*VR*deltax*deltat)-(((rho^2)*(deltax^2)*deltay*
deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-((kons*deltay*deltat)/(deltax))-(2*
kons*deltat)-((kons*deltax*deltat)/(deltay)))));
    F=[-((7/8)*rho*etha*VR*deltax*deltat)+((7*(rho^2)*(deltax^2)*
deltay*deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-((kons*deltay*deltat)/
(deltax))-(2*kons*deltat)-((kons*deltax*deltat)/(deltay)))));
    G=[((3/8)*rho*etha*VR*deltax*deltat)-((3*(rho^2)*(deltax^2)*deltay*
deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-((kons*deltay*deltat)/(deltax))-(2*
kons*deltat)-((kons*deltax*deltat)/(deltay)))));
    H=[-(Pt*deltay*deltat)-(Pt*deltax*deltat)+((2*miu*UR*deltay*deltat)/
(deltax))+((2*miu*VR*deltax*deltat)/(deltay))+rho*gr*deltay*deltat
+(rho*deltax*deltat)-(Ubar*dia*deltay*deltat)-(Vbar*dia*deltax*
deltat)];
    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;
%PENGERJAAN MATRIKS
R1=X0;
w=length(L);
X1=X0;
for k=1:N
    for i=1:w
        S=L(i)-K(i,1:i-1)*X1(1:i-1)-K(i,i+1:w)*X0(i+1:w);
        X1(i)=S/K(i,i);
    end
    er=abs(X1-X0);
    error=norm(er);
    reller=error/(norm(X1)+eps);
    X0=X1;
    R1=[R1,X0];
    if(error<tol)|(reller<tol)
        break
    end
end
end
%disp(['besarnya error= ',num2str(error)]);
disp(['besarnya relatif error= ',num2str(reller)]);
R1;
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 Pada Penerima Volumetrik')  
legend(strcat('Kecepatan=',num2str((Ubar1:dUbar:Ubar2)')));  
grid on; hold on;  
disp('Gauss-Seidel method converged');
```



A.2 Format *Programming* Simulasi Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik di Menara Surya Berdasarkan Temperatur Awal Menggunakan Metode Gauss - Seidel

```

clear all; clc;

disp('-----');
disp('                By : Putri Nur Amalina                ');
disp('                130210101058                ');
disp('    SIMULASI PERPINDAHAN PANAS PADA PENERIMA VOLUMETRIK    ');
disp('                Menggunakan Metode Gauss Seidell                ');
disp('-----');
%TAHAP INPUT
%m=input('masukkan diskritisasi sumbu x = ');
%n=input('masukkan diskritisasi sumbu y= ');
m=50;
n=1;
Tin1=27;
Tin2=37;
dTin=(Tin2-Tin1)/2;                %interval temperatur awal(C)
Xall_plot=[];
X0=zeros(m,1);
X0(1:1:m)=1;
tol=0.01;
%TAHAP INISIALISASI
rho=1.2;                %massa jenis udara (kg/m3)
miu=1.6*(10^-5);                %viskositas udara (kg/m s)
UR=0.3089;
VR=1.8459;
Vbar=2;                %kecepatan angin searah sumbu-y(m/s)
Ubar=3;
deltat=0.003189;
deltax=0.02987;
deltay=0.09499;
gr=10;                %percepatan gravitasi(m/s2)
Pt=10;                %tekanan (N/m2)
kons=0.009;                %konduktivitas(W/m-C)
dia=0.239;
mass=2.836;
Cpfl=1.985;                %kapasitas panas spesifik(J/kg-C)
Tout=380;                %temperatur keluar(C)
G0=5.9678;                %radiasi(W/m2)

```

```

A1=0.989; %luasan(m2)
Xall_plot=[];
N=30; %iterasi maksimal
for Tin=Tin1:dTin:Tin2; % kecepatan angin sumbu x
    etha=(mass*Cpfl*(Tout-Tin))/(G0*A1);
    X_all=[];
    %TAHAP PENDEFINISIAN MATRIKS
    A=[((1/8)*rho*etha*UR*deltay*deltat)-(((rho^2)*deltax*(deltay^2)*
deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-((kons*deltay*deltat)/deltax)-(2*
kons*deltat)-((kons*deltax*deltat)/deltay))))];
    B=[-((7/8)*rho*etha*UR*deltay*deltat)+((7*(rho^2)*deltax*
(deltay^2)*deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-((kons*deltay*deltat)/
deltax)-(2*kons*deltat)-((kons*deltax*deltat)/deltay))))];
    C=[((3/8)*rho*etha*UR*deltay*deltat)+((3/8)*rho*etha*VR*deltax*
deltat)-((3*(rho^2)*deltax*(deltay^2)*deltat)/(8*((rho*deltax*
deltay)-((kons*deltay*deltat)/(deltax))-(2*kons*deltat)-((kons*
deltax*deltat)/(deltay)))))-((3*(rho^2)*(deltax^2)*deltay*deltat)/
(8*((rho*deltax*deltay)-((kons*deltay*deltat)/(deltax))-(2*kons*
deltat)-((kons*deltax*deltat)/(deltay)))));
    D=[((3/8)*rho*etha*UR*deltay*deltat)-((3*(rho^2)*deltax*(deltay^2)
*deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-((kons*deltay*deltat)/(deltax))-
(2*kons*deltat)-((kons*deltax*deltat)/(deltay)))));
    E=[((1/8)*rho*etha*VR*deltax*deltat)-(((rho^2)*(deltax^2)*deltay*
deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-((kons*deltay*deltat)/(deltax))-(2*
kons*deltat)-((kons*deltax*deltat)/(deltay)))));
    F=[-((7/8)*rho*etha*VR*deltax*deltat)+((7*(rho^2)*(deltax^2)*
deltay*deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-((kons*deltay*deltat)/
(deltax))-(2*kons*deltat)-((kons*deltax*deltat)/(deltay)))));
    G=[((3/8)*rho*etha*VR*deltax*deltat)-((3*(rho^2)*(deltax^2)*deltay*
deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-((kons*deltay*deltat)/(deltax))-(2*
kons*deltat)-((kons*deltax*deltat)/(deltay)))));
    H=[-(Pt*deltay*deltat)-(Pt*deltax*deltat)+((2*miu*UR*deltay*deltat)/
(deltax))+((2*miu*VR*deltax*deltat)/(deltay))+rho*gr*deltay*deltat)
+(rho*deltax*deltat)-(Ubar*dia*deltay*deltat)-(Vbar*dia*deltax*
deltat)];
    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
R1=X0;
w=length(L);
X1=X0;
for k=1:N
    for i=1:w
        S=L(i)-K(i,1:i-1)*X1(1:i-1)-K(i,i+1:w)*X0(i+1:w);
        X1(i)=S/K(i,i);
    end
    e=abs(X1-X0);
    error=norm(e);
    reller=error/(norm(X1)*eps);
    X0=X1;
    R1=[R1,X0];
    if(error<Tol)|(reller<Tol)
        break
    end
end
%disp(['besarnya error= ',num2str(error)]);
disp(['besarnya relatif error= ',num2str(reller)]);
R1;
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 Pada  
Penerima Volumetrik') legend(strcat('Temperatur Awal=  
,num2str((Tin1:dTin:Tin2)'))));  
grid on; hold on;  
disp('Gauss-Seidel method converged');
```



LAMPIRAN B. HASIL SIMULASI NUMERIK MENGGUNAKAN METODE GAUSS SEIDEL

B.1 Tabel Hasil Simulasi Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik Berdasarkan Kecepatan Angin

Titik ke-	2 m/s	2.5 m/s	3 m/s
1	0.090159	0.0013118	-0.003016
2	0.25222	0.0073598	-0.0044775
3	0.50107	0.019084	-0.0043289
4	0.86243	0.037778	-0.0028377
5	1.369	0.065508	-3.30×10^{-5}
6	2.0602	0.1052	0.0042969
7	2.982	0.16073	0.010568
8	4.1878	0.23713	0.019393
9	5.7377	0.34078	0.031602
10	7.6988	0.47968	0.048288
11	10.145	0.66377	0.07086
12	13.155	0.90535	0.10112
13	16.814	1.2194	0.14136
14	21.209	1.6243	0.19448
15	26.432	2.1419	0.26411
16	32.572	2.7987	0.35479
17	39.719	3.6259	0.47214
18	47.96	4.6608	0.62314
19	57.374	5.9467	0.81633
20	68.036	7.5344	1.0622
21	80.008	9.4827	1.3734
22	93.341	11.859	1.7655
23	108.07	14.742	2.2571
24	124.23	18.219	2.8705
25	141.81	22.39	3.6324

Titik ke-	2 m/s	2.5 m/s	3 m/s
26	160.82	27.366	4.5746
27	181.21	33.274	5.7345
28	202.95	40.252	7.1566
29	225.96	48.453	8.8924
30	250.18	58.046	11.002
31	275.49	69.212	13.556
32	301.8	82.149	16.634
33	328.97	97.066	20.326
34	356.87	114.19	24.736
35	385.36	133.74	29.976
36	414.28	155.95	36.168
37	443.46	181.05	43.442
38	472.73	209.24	51.926
39	501.89	240.67	61.736
40	530.72	275.39	72.96
41	558.9	313.31	85.625
42	586	354.04	99.651
43	611.32	396.72	114.77
44	633.67	439.71	130.44
45	650.96	480.1	145.59
46	659.38	512.89	158.47
47	651.98	529.72	166.1
48	616.12	516.83	163.77
49	528.77	451.85	144.03
50	348.32	298.73	95.327

B.2 Tabel Hasil Simulasi Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik Berdasarkan Temperatur Awal

Titik ke-	27°C	32°C	37°C
1	0.0067293	-0.0019055	-0.0045265
2	0.027193	0.0036246	-0.0036002
3	0.063569	0.017962	0.0036554
4	0.11853	0.04249	0.017809
5	0.19575	0.079715	0.04038
6	0.29962	0.13335	0.073948
7	0.43506	0.20832	0.12222
8	0.60723	0.3109	0.19019
9	0.82132	0.4488	0.28438
10	1.0824	0.63137	0.41316
11	1.395	0.8698	0.58718
12	1.7632	1.1773	0.81984
13	2.1904	1.5693	1.1278
14	2.6789	2.0635	1.5319
15	3.2299	2.6802	2.0574
16	3.8435	3.4424	2.7353
17	4.5187	4.3757	3.6032
18	5.253	5.5082	4.7061
19	6.043	6.8711	6.0979
20	6.8839	8.4976	7.8423
21	7.7701	10.424	10.015
22	8.6951	12.687	12.703
23	9.6517	15.328	16.009
24	10.632	18.387	20.051
25	11.629	21.906	24.966
26	12.633	25.927	30.907
27	13.637	30.491	38.052
28	14.633	35.64	46.596
29	15.615	41.413	56.763
30	16.574	47.846	68.799
31	17.506	54.973	82.977
32	18.405	62.824	99.596
33	19.266	71.422	118.98
34	20.086	80.789	141.49
35	20.862	90.936	167.49
36	21.592	101.87	197.37

Titik ke-	27°C	32°C	37°C
37	22.274	113.59	231.55
38	22.908	126.08	270.41
39	23.494	139.31	314.32
40	24.03	153.23	363.53
41	24.514	167.75	418.16
42	24.943	182.72	477.95
43	25.307	197.87	542.09
44	25.583	212.72	608.7
45	25.722	226.39	674.08
46	25.622	237.24	731.41
47	25.075	242.27	768.55
48	23.649	235.97	764.38
49	20.474	208.23	682.67
50	13.766	140.63	462.12

LAMPIRAN C. HASIL PERHITUNGAN *ERROR* RELATIFC.1 Hasil Perhitungan *Error* Relatif Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik Dipengaruhi Oleh Kecepatan Angin (Kecepatan Angin 2 m/s)

Titik ke-	2 m/s
1	0.090159
2	0.25222
3	0.50107
4	0.86243
5	1.369
6	2.0602
7	2.982
8	4.1878
9	5.7377
10	7.6988
11	10.145
12	13.155
13	16.814
14	21.209
15	26.432
16	32.572
17	39.719
18	47.96
19	57.374
20	68.036
21	80.008
22	93.341
23	108.07
24	124.23
25	141.81

Titik ke-	2 m/s
26	160.82
27	181.21
28	202.95
29	225.96
30	250.18
31	275.49
32	301.8
33	328.97
34	356.87
35	385.36
36	414.28
37	443.46
38	472.73
39	501.89
40	530.72
41	558.9
42	586
43	611.32
44	633.67
45	650.96
46	659.38
47	651.98
48	616.12
49	528.77
50	348.32

$$\text{error relatif} = \left| \frac{X_0 - X_i}{X_i} \right| = \left| \frac{653 - 659.38}{659.38} \right| = 0.009675$$

C.2 Hasil Perhitungan *Error* Relatif Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik Dipengaruhi Oleh Temperatur Awal (Temperatur 27 °C)

Titik ke-	27°C
1	0.0067293
2	0.027193
3	0.063569
4	0.11853
5	0.19575
6	0.29962
7	0.43506
8	0.60723
9	0.82132
10	1.0824
11	1.395
12	1.7632
13	2.1904
14	2.6789
15	3.2299
16	3.8435
17	4.5187
18	5.253
19	6.043
20	6.8839
21	7.7701
22	8.6951
23	9.6517
24	10.632
25	11.629
26	12.633
27	13.637
28	14.633
29	15.615
30	16.574
31	17.506
32	18.405
33	19.266
34	20.086
35	20.862
36	21.592

Titik ke-	27°C
37	22.274
38	22.908
39	23.494
40	24.03
41	24.514
42	24.943
43	25.307
44	25.583
45	25.722
46	25.622
47	25.075
48	23.649
49	20.474
50	13.766

$$\text{error relatif} = \left| \frac{X_0 - X_i}{X_i} \right| = \left| \frac{767.5 - 768.55}{768.55} \right| = 0.001366$$

dengan :

X_0 = tebakan awal

X_i = nilai numerik

LAMPIRAN D. MONOGRAF



MONOGRAF

PEMODELAN MATEMATIKA

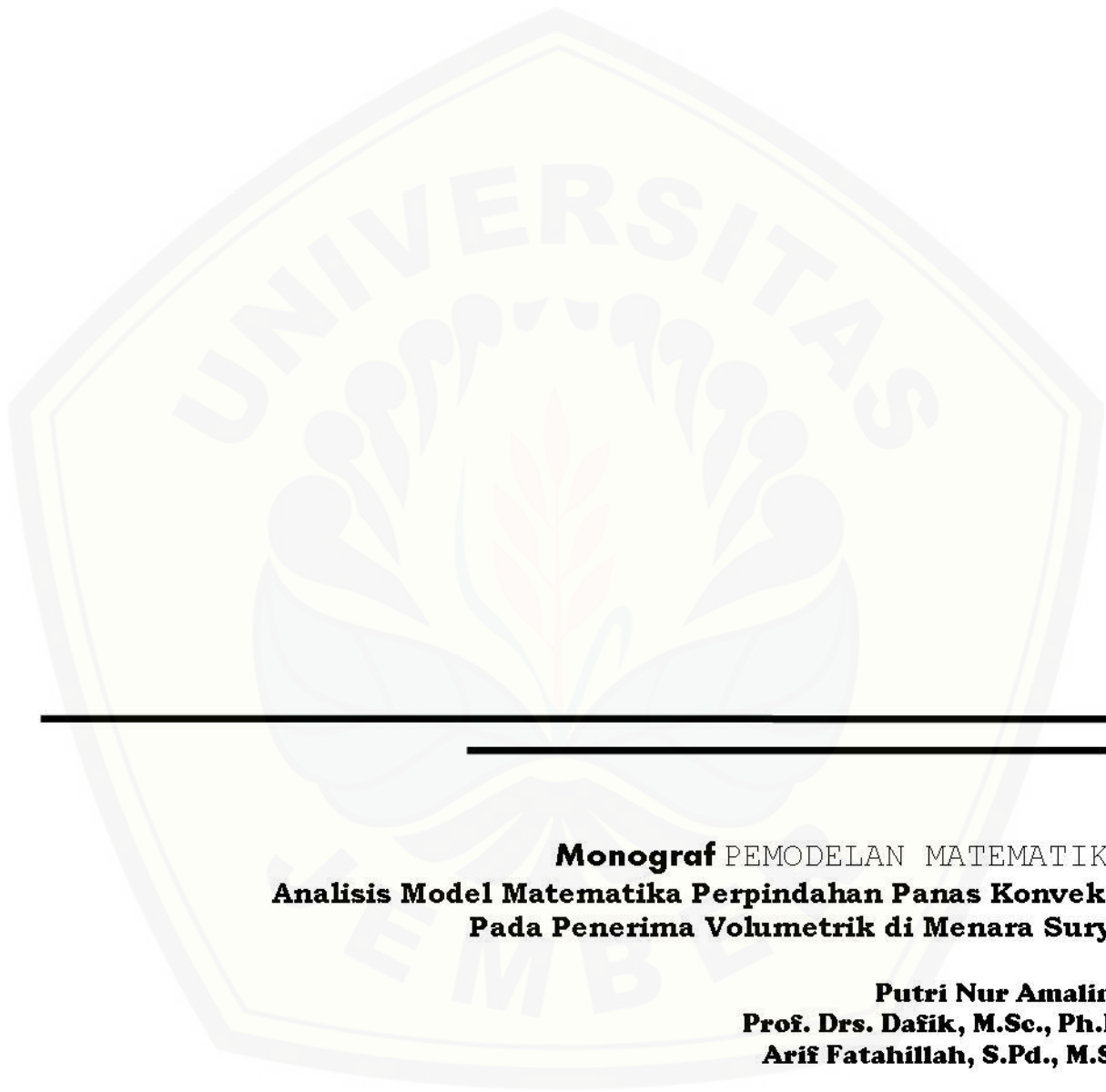
ANALISIS MODEL MATEMATIKA PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI PADA PENERIMA VOLUMETRIK DI MENARA SURYA

DISUSUN OLEH :

**Putri Nur Amalina
Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D.
Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.**



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



Monograf PEMODELAN MATEMATIKA
**Analisis Model Matematika Perpindahan Panas Konveksi
Pada Penerima Volumetrik di Menara Surya**

Putri Nur Amalina
Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D.
Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.

Author

©April, 2017, Pendidikan Matematika FKIP Universitas Jember

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penuliss dapat menyelesaikan monograf pemodelan matematika. Monograf ini didesain untuk membantu para pembacanya dalam memahami bagaimana proses dari pemodelan matematika yang khususnya proses perpindahan panas pada penerima volumetrik di menara surya.

Semoga dengan tersusunnya monograf ini, para pembacanya mendapatkan manfaat. Penulis juga menyadari bahwa monograf ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan monograf ini.

Jember, Februari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iii
Daftar Gambar	iv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Pemodelan Matematika	1
1.2 CFD	1
BAB 2 KONTRUKSI MODEL MATEMATIKA	2
2.1 Sistem Penerima Volumetrik	2
2.2 Kontruksi Model Matematika	2
2.2.1 Persaman Momentum	2
2.2.2 Persamaan Energi	4
2.3 Diskritisasi Menggunakan Metode QUICK	5
BAB 3 KOMPUTASI MATLAB	9
BAB 4 SIMULASI FLUENT.....	20
BAB 5 KESIMPULAN	25
DAFTAR PUSTAKA	26
GLOSARIUM.....	27

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penerima Volumetrik 2

Gambar 2.2 Bagan Volume Kendali Persamaan Momentum 3

Gambar 2.3 Bagan Volume Kendali Persamaan Energi 4

Gambar 2.4 Diskritisasi QUICK untuk perpindahan panas pada penerima dalam penerima volumetrik 6

Gambar 2.5 Pembentukan Matriks 8

Gambar 2.6 Skema Diskritisasi Penerima Volumetrik 8

Gambar 3.1 *Command Window* pada Program MATLAB 13

Gambar 3.2 Grafik Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik di Menara Surya Berdasarkan Kecepatan..... 14

Gambar 3.3 *Command Window* pada Program MATLAB 19

Gambar 3.4 Grafik Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik di Menara Surya Berdasarkan Temperatur..... 19

Gambar 4.1 Desain Geometri Penerima Volumetrik Menggunakan GAMBIT sebelum mesh 20

Gambar 4.2 Desain Geometri Penerima Volumetrik Menggunakan GAMBIT sesudah mesh..... 20

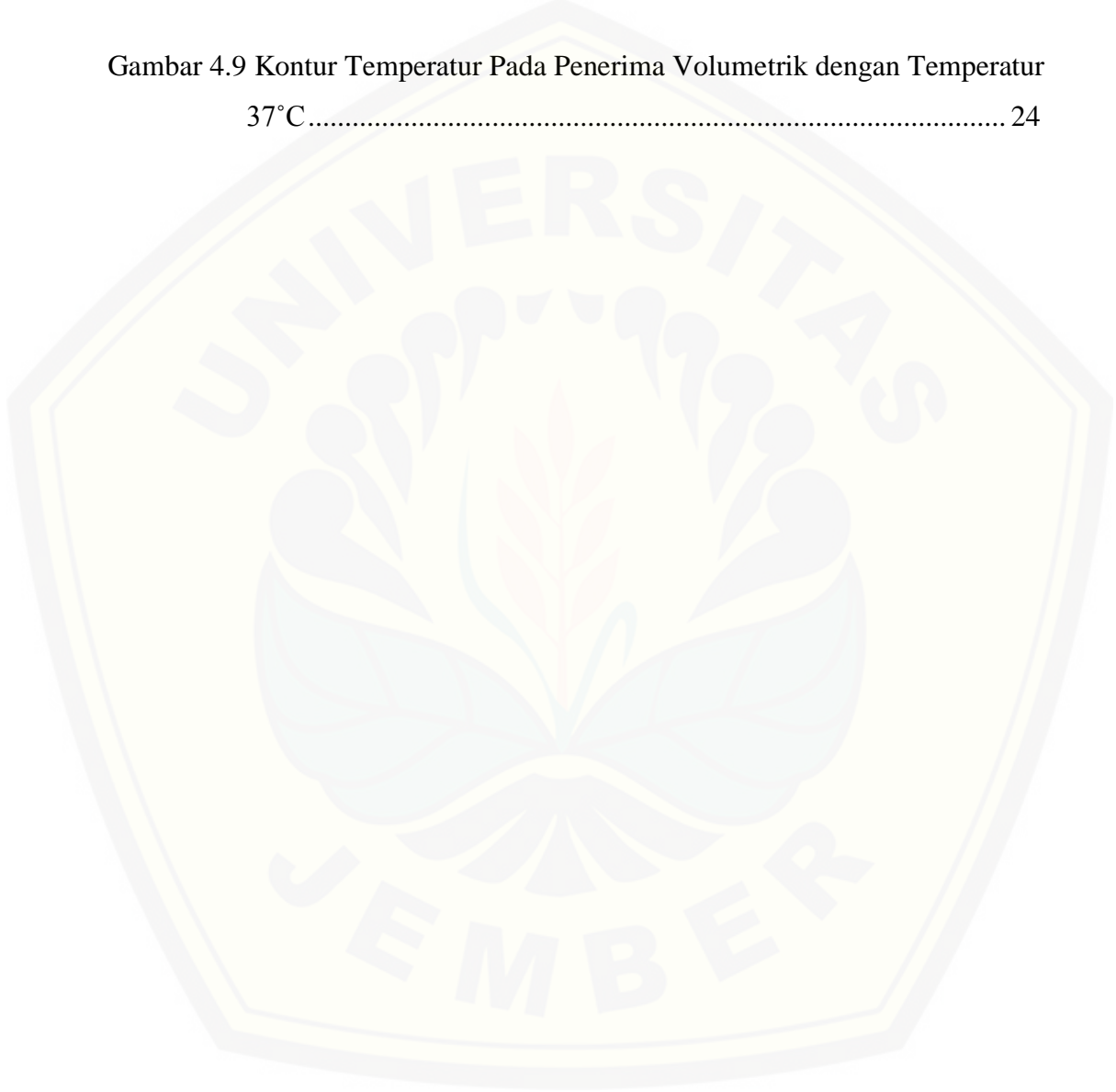
Gambar 4.3 Versi pada FLUENT 21

Gambar 4.4 Kontur Temperatur Pada Penerima Volumetrik dengan Kecepatan 2m/s 22

Gambar 4.5 Kontur Temperatur Pada Penerima Volumetrik dengan Kecepatan 2,5m/s 22

Gambar 4.6 Kontur Temperatur Pada Penerima Volumetrik dengan Kecepatan

3m/s	23
Gambar4.7 Kontur Temperatur Pada Penerima Volumetrik dengan Temperatur 27°C	23
Gambar 4.8 Kontur Temperatur Pada Penerima Volumetrik dengan Temperatur 32°C	24
Gambar 4.9 Kontur Temperatur Pada Penerima Volumetrik dengan Temperatur 37°C	24



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Pemodelan Matematika

Model matematika merupakan deskripsi dari suatu fenomena yang di uji coba atau diperoleh dengan menggunakan bahasa matematika. Dalam model matematika terdapat dua besaran kuantitatif yaitu variabel dan parameter yang berkaitan dengan suatu relasi matematika. Jadi, model matematika merupakan suatu model yang dihasilkan dari suatu proses yang terdiri dari konsep-konsep matematika seperti konstanta, variabel, fungsi, persamaan dan sebagainya.

Pemodelan matematika merupakan bidang matematika yang berusaha untuk merepresentasi dan menjelaskan sistem-sistem fisik atau masalah dalam kehidupan nyata dalam pernyataan matematika. Sehingga dapat dikatakan bahwa pemodelan matematika merupakan terjemahan suatu fenomena serta masalah dalam kehidupan nyata yang dibentuk dalam bahasa matematika (Widowati dan Sutimin, 2007).

1.2 CFD

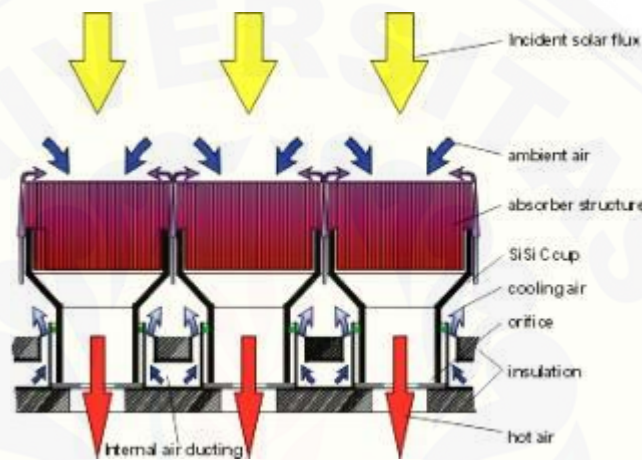
Dalam kehidupan sehari-hari dan disekitar kita terdapat banyak zat serta kejadian yang berkaitan dengan zat tersebut. Fenomena yang terjadi dapat dianalisis dengan cepat dan akurat dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). *Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan suatu sistem analisis yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena yang berkaitan dengan reaksi kimia menggunakan cara simulasi berbasis komputer (Tuakia, 2008). Kegunaan CFD secara umum adalah untuk memprediksi :

- Aliran dan panas
- Transfer massa
- Perubahan fase seperti proses melting, penguapan dan pendidihan
- Reaksi kimia seperti pembakaran

BAB 2 KONTRUKSI MODEL MATEMATIKA

2.1 Sistem Penerima Volumetrik

Menara surya merupakan suatu alat tenaga surya yang menggunakan teknik *Concentrated Solar Power* (CSP). Sistem menara surya adalah menggunakan cermin atau lensa yang berada di sekitar menara. Di dalam menara surya terdapat penerima volumetrik yang berfungsi dalam proses penukaran udara sehingga menghasilkan panas yang dapat digunakan untuk menggerakkan turbin.



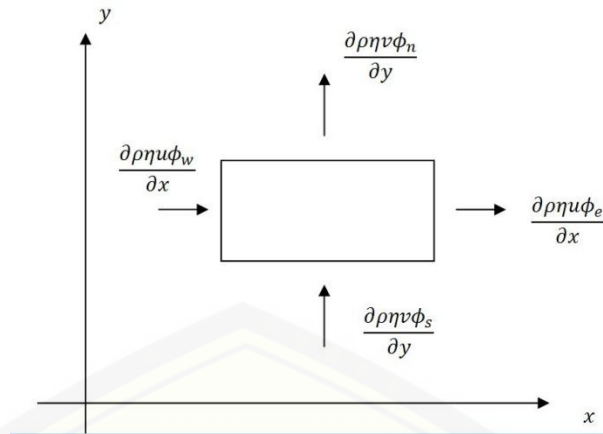
Gambar 2.1 Penerima Volumetrik

Proses yang terjadi didalam penerima volumetrik dapat dilihat pada Gambar 1. Radiasi beserta udara sekitar akan masuk melalui struktur absorbs yang terdapat dalam penerima volumetrik. Dalam proses ini kecepatan angin, temperatur awal dan waktu mempengaruhi hasil panas yang terbentuk. Jika panas yang terbentuk maksimal maka tenaga yang akan terbentuk juga akan maksimal.

2.2 Kontruksi Model Matematika

2.2.1 Persamaan Momentum

Pada analisis perpindahan panas di penerima volumetrik terjadi perubahan momentum. Berdasarkan perubahan momentum yang terjadi di sumbu x dan sumbu y maka momentum masuk dan momentum keluar sesuai dengan volume kendali dua dimensi yang dimodelkan berdasarkan Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Bagan Volume Kendali Persamaan Momentum

Bentuk umum persamaan momentum :

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + [pure\ rate] = F$$

Karena objek yang diteliti merupakan perpindahan panas yang tak terlihat, maka $pure\ rate = output - input$.

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + [output - input] = \Sigma F$$

Berdasarkan Gambar 2.2, fluks momentum terjadi di keempat sisi, yaitu dua masuk dan dua keluar.

- Fluks momentum input :

$$\frac{\partial \rho \eta u \phi_w}{\partial x} + \frac{\partial \rho \eta v \phi_s}{\partial y} \quad (1)$$

- Fluks momentum output :

$$\frac{\partial \rho \eta u \phi_e}{\partial x} + \frac{\partial \rho \eta v \phi_n}{\partial y} \quad (2)$$

Persamaan (1) dan Persamaan (2) disubstitusikan ke bentuk persamaan umum, maka diperoleh persamaan berikut :

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial \rho \eta u \phi_e}{\partial x} - \frac{\partial \rho \eta u \phi_w}{\partial x} + \frac{\partial \rho \eta v \phi_n}{\partial y} - \frac{\partial \rho \eta v \phi_s}{\partial y} = F \quad (3)$$

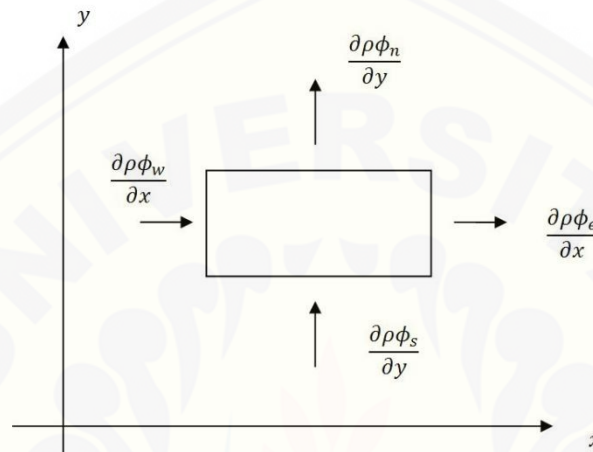
dengan gaya yang bekerja yaitu gaya tekanan (P) dan gaya gravitasi (g), maka Persamaan (3) menjadi :

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial \rho \eta u \phi_e}{\partial x} - \frac{\partial \rho \eta u \phi_w}{\partial x} + \frac{\partial \rho \eta v \phi_n}{\partial y} - \frac{\partial \rho \eta v \phi_s}{\partial y} = -\nabla P + \nabla(\bar{\tau}) + \rho \bar{g} - \nabla \bar{u}d \quad (4)$$

Dan menuliskan komponen-komponen vektor secara lengkap diperoleh :

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial \rho \eta u \phi_e}{\partial x} - \frac{\partial \rho \eta u \phi_w}{\partial x} + \frac{\partial \rho \eta u \phi_n}{\partial y} - \frac{\partial \rho \eta u \phi_s}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \rho \left(\frac{\partial g}{\partial x} + \frac{\partial g}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \bar{u}d - \frac{\partial}{\partial y} \bar{v}d \quad (4)$$

2.2.2 Persamaan Energi



Gambar 2.3 Bagan Volume Kendali Persamaan Energi

Bentuk umum persamaan energi :

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + [pure\ rate] = S$$

Karena objek yang diteliti merupakan perpindahan panas yang tak terlihat, maka $pure\ rate = output - input$.

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + [output - input] = S$$

Berdasarkan Gambar 2.2, fluks momentum terjadi di keempat sisi, yaitu dua masuk dan dua keluar.

- Fluks momentum input :

$$\frac{\partial \rho \phi_w}{\partial x} + \frac{\partial \rho \phi_s}{\partial y} \quad (5)$$

- Fluks momentum output :

$$\frac{\partial \rho \phi_e}{\partial x} + \frac{\partial \rho \phi_n}{\partial y} \quad (6)$$

Persamaan (5) dan Persamaan (6) disubstitusikan ke bentuk persamaan umum, maka diperoleh persamaan berikut :

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial \rho \phi_e}{\partial x} - \frac{\partial \rho \phi_w}{\partial x} + \frac{\partial \rho \phi_n}{\partial y} - \frac{\partial \rho \phi_s}{\partial y} = \nabla \left(k \frac{\partial \phi_0}{\partial x} \right) \quad (7)$$

Dan menuliskan komponen-komponen vektor secara lengkap diperoleh :

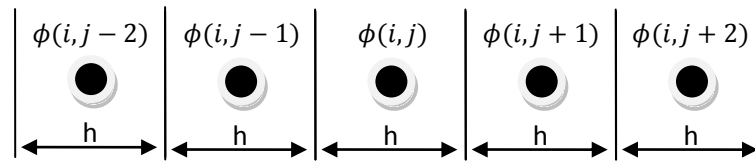
$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial \rho \phi_e}{\partial x} - \frac{\partial \rho \phi_w}{\partial x} + \frac{\partial \rho \phi_n}{\partial y} - \frac{\partial \rho \phi_s}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(k \left(\frac{\partial \phi_0}{\partial x} + \frac{\partial \phi_0}{\partial y} \right) \right) + \\ \frac{\partial}{\partial y} \left(k \left(\frac{\partial \phi_0}{\partial x} + \frac{\partial \phi_0}{\partial y} \right) \right) & \end{aligned} \quad (8)$$

Persamaan momentum pada Persamaan (4) dan persamaan energi pada Persamaan (8) dalam model matematika merupakan persamaan diferensial. Untuk menyelesaikan persamaan momentum dan persamaan energi yaitu dengan mengintegrasikan persamaan diferensial sebanyak variabel bebas yang ada (x , y , dan t).

$$\begin{aligned} &\phi_e \left(\rho \eta u \Delta y \Delta t - \frac{\rho^2 \Delta x \Delta y^2 \Delta t}{\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} \right) + \\ &\phi_w \left(\frac{\rho^2 \Delta x \Delta y^2 \Delta t}{\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} - \rho \eta u \Delta y \Delta t \right) + \\ &\phi_n \left(\rho \eta v \Delta y \Delta t - \frac{\rho^2 \Delta x \Delta y^2 \Delta t}{\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} \right) + \\ &\phi_s \left(\frac{\rho^2 \Delta x \Delta y^2 \Delta t}{\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} - \rho \eta v \Delta y \Delta t \right) = -P \Delta y \Delta t - \\ &P \Delta x \Delta t + 2\mu \frac{u}{\Delta x} \Delta y \Delta t + 2\mu \frac{v}{\Delta y} \Delta x \Delta t + \rho g \Delta y \Delta t + \rho g \Delta x \Delta t - \\ &\bar{u} d \Delta y \Delta t - \bar{v} d \Delta x \Delta t \end{aligned} \quad (9)$$

2.3 Diskritisasi Menggunakan Metode *QUICK*

Dalam menentukan nilai setiap ϕ pada Persamaan (9), maka proses diskritisasi dengan mengubah ϕ pada bidang menjadi ϕ pada titik dengan menggunakan diskritisasi *QUICK*.



Gambar 2.4 Diskritisasi *QUICK* untuk perpindahan panas pada penerima dalam penerima volumetrik

Hasil dari diskritisasi teknik *QUICK* diperoleh nilai ϕ pada bidang menjadi ϕ pada titik sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \phi_s(i, j) &= -\frac{1}{8}\phi(i, j-2) + \frac{3}{4}\phi(i, j-1) + \frac{3}{8}\phi(i, j) \\ \phi_n(i, j) &= -\frac{1}{8}\phi(i, j-1) + \frac{3}{4}\phi(i, j) + \frac{3}{8}\phi(i, j+1) \\ \phi_w(i, j) &= -\frac{1}{8}\phi(i-2, j) + \frac{3}{4}\phi(i-1, j) + \frac{3}{8}\phi(i, j) \\ \phi_e(i, j) &= -\frac{1}{8}\phi(i-1, j) + \frac{3}{4}\phi(i, j) + \frac{3}{8}\phi(i+1, j) \end{aligned} \quad (10)$$

Substitusi Persamaan (9) ke Persamaan (10) maka diperoleh :

$$\begin{aligned} &\left(-\frac{1}{8}\phi(i-1, j) + \frac{3}{4}\phi(i, j) + \frac{3}{8}\phi(i+1, j)\right) \left(\rho\eta u\Delta y\Delta t - \right. \\ &\rho 2\Delta x\Delta y 2\Delta t \rho\Delta x\Delta y - k\Delta y\Delta t\Delta x - 2k\Delta t - k\Delta x\Delta t\Delta y + -18\phi i-2 \\ &j+34\phi i-, j+38\phi i, j\rho 2\Delta x\Delta y 2\Delta t \rho\Delta x\Delta y - k\Delta y\Delta t\Delta x - 2k\Delta t - k \\ &\Delta x\Delta t\Delta y - \rho\eta u\Delta y\Delta t + -18\phi i, j-1+34\phi i, j+38\phi i, j+1\rho\eta v\Delta y \\ &\Delta t - \rho 2\Delta x\Delta y 2\Delta t \rho\Delta x\Delta y - k\Delta y\Delta t\Delta x - 2k\Delta t - k\Delta x\Delta t\Delta y + -18\phi \\ &i, j-2+34\phi i, j-1+38\phi i, j\rho 2\Delta x\Delta y 2\Delta t \rho\Delta x\Delta y - k\Delta y\Delta t\Delta x - 2k \\ &\Delta t - k\Delta x\Delta t\Delta y - \rho\eta v\Delta y\Delta t = -P\Delta y\Delta t - P\Delta x\Delta t + 2\mu u\Delta x\Delta y\Delta t + \\ &2\mu \frac{v}{\Delta y}\Delta x\Delta t + \rho g\Delta y\Delta t + \rho g\Delta x\Delta t - \bar{u}d\Delta y\Delta t - \bar{v}d\Delta y\Delta t \end{aligned} \quad (11)$$

Berdasarkan Persamaan (11) maka berlaku hukum distributif dan asosiatif disesuaikan dengan masing-masing jenis titiknya (*node*), sehingga Persamaan (11) menjadi :

$$\begin{aligned}
 & \left[\frac{1}{8} \rho \eta u \Delta y \Delta t - \frac{\rho^2 \Delta x \Delta y^2 \Delta t}{8 \left(\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)} \right] \phi(i-2, j) + \\
 & \left[-\frac{7}{8} \rho \eta u \Delta y \Delta t + \frac{7 \rho^2 \Delta x \Delta y^2 \Delta t}{8 \left(\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)} \right] \phi(i-1, j) + \\
 & \left[\frac{3}{8} \rho \eta u \Delta y \Delta t + \frac{3}{8} \rho \eta v \Delta x \Delta t - \frac{3 \rho^2 \Delta x \Delta y^2 \Delta t}{8 \left(\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)} - \right. \\
 & 3 \rho^2 \Delta x^2 \Delta y \Delta t \delta \rho \Delta x \Delta y - k \Delta y \Delta t \Delta x - 2k \Delta t - k \Delta x \Delta t \Delta y \phi_{i,j} + 38 \rho \eta u \Delta \\
 & y \Delta t - 3 \rho^2 \Delta x \Delta y^2 \Delta t \delta \rho \Delta x \Delta y - k \Delta y \Delta t \Delta x - 2k \Delta t - k \Delta x \Delta t \Delta y \phi_{i+1,j} \\
 & + 18 \rho \eta v \Delta x \Delta t - \rho^2 \Delta x^2 \Delta y \Delta t \delta \rho \Delta x \Delta y - k \Delta y \Delta t \Delta x - 2k \Delta t - k \Delta x \Delta t \Delta \\
 & y \phi_{i,j-2} + -78 \rho \eta v \Delta x \Delta t + 7 \rho^2 \Delta x^2 \Delta y \Delta t \delta \rho \Delta x \Delta y - k \Delta y \Delta t \Delta x - 2k \Delta \\
 & t - k \Delta x \Delta t \Delta y \phi_{i,j-1} + 38 \rho \eta v \Delta x \Delta t - 3 \rho^2 \Delta x^2 \Delta y \Delta t \delta \rho \Delta x \Delta y - k \Delta y \Delta t \\
 & \Delta x - 2k \Delta t - k \Delta x \Delta t \Delta y \phi_{i,j+1} = -P \Delta y \Delta t - P \Delta x \Delta t + 2 \mu 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 - \bar{u} d \Delta y \Delta t - \bar{u} d \Delta x \Delta t
 \end{aligned} \tag{12}$$

Jika Persamaan (12) dimisalkan menjadi :

$$\begin{aligned}
 A \cdot \phi(i-2, j) + B \cdot \phi(i-1, j) + C \cdot \phi(i, j) + D \cdot \phi(i+1, j) + \\
 E \cdot \phi(i, j-2) + F \cdot \phi(i, j-1) + G \cdot \phi(i, j+1) = H
 \end{aligned} \tag{13}$$

Berdasarkan Persamaan (13) maka Persamaan (12) dapat dituliskan secara terpisah sebagai berikut :

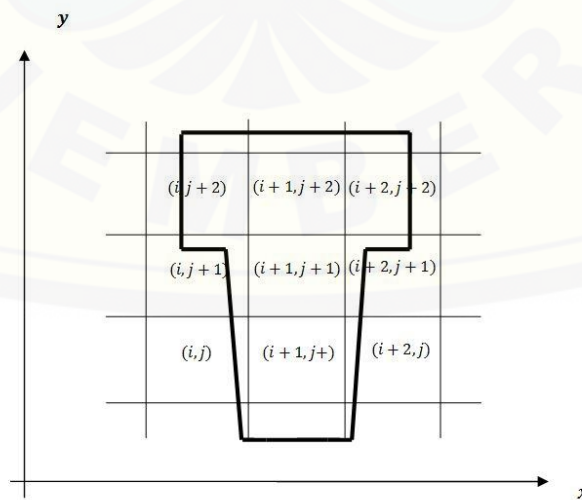
$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{8} \rho \eta u \Delta y \Delta t - \frac{\rho^2 \Delta x \Delta y^2 \Delta t}{8 \left(\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} \right)} \\
 B &= -\frac{7}{8} \rho \eta u \Delta y \Delta t + \frac{7 \rho^2 \Delta x \Delta y^2 \Delta t}{8 \left(\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} \right)} \\
 C &= \frac{3}{8} \rho \eta u \Delta y \Delta t + \frac{3}{8} \rho \eta v \Delta x \Delta t - \frac{3 \rho^2 \Delta x \Delta y^2 \Delta t}{8 \left(\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} \right)} - \\
 & \frac{3 \rho^2 \Delta x^2 \Delta y \Delta t}{8 \left(\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} \right)} \\
 D &= \frac{3}{8} \rho \eta u \Delta y \Delta t - \frac{3 \rho^2 \Delta x \Delta y^2 \Delta t}{8 \left(\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} \right)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{1}{8} \rho \eta v \Delta x \Delta t - \frac{\rho^2 \Delta x^2 \Delta y \Delta t}{8(\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y})} \\
 F &= -\frac{7}{8} \rho \eta v \Delta x \Delta t + \frac{7 \rho^2 \Delta x^2 \Delta y \Delta t}{8(\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y})} \\
 G &= \frac{3}{8} \rho \eta v \Delta x \Delta t - \frac{3 \rho^2 \Delta x^2 \Delta y \Delta t}{8(\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y})} \\
 H &= -P \Delta y \Delta t - P \Delta x \Delta t + 2\mu \frac{u}{\Delta x} \Delta y \Delta t + 2\mu \frac{v}{\Delta y} \Delta x \Delta t + \rho g \Delta y \Delta t + \\
 &\quad \rho g \Delta x \Delta t - \bar{u} d \Delta y \Delta t - \bar{u} d \Delta x \Delta t
 \end{aligned} \tag{14}$$

Sehingga matriks yang terbentuk sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix}
 C & D & 0 & G & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\
 B & C & D & 0 & G & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\
 A & B & C & 0 & 0 & G & 0 & 0 & \dots & 0 \\
 F & 0 & 0 & C & D & 0 & G & 0 & \dots & 0 \\
 0 & F & 0 & B & C & D & 0 & G & \dots & 0 \\
 0 & 0 & F & A & B & C & 0 & 0 & \dots & 0 \\
 E & 0 & 0 & F & 0 & 0 & C & D & \dots & 0 \\
 0 & E & 0 & 0 & F & 0 & B & C & \dots & 0 \\
 0 & 0 & E & 0 & 0 & F & A & B & \dots & 0 \\
 0 & 0 & 0 & E & 0 & 0 & F & 0 & \dots & 0 \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \phi_1 \\
 \phi_2 \\
 \phi_3 \\
 \phi_4 \\
 \phi_5 \\
 \phi_6 \\
 \phi_7 \\
 \phi_8 \\
 \phi_9 \\
 \phi_{10} \\
 \vdots \\
 \phi_n
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 H_1 \\
 H_2 \\
 H_3 \\
 H_4 \\
 H_5 \\
 H_6 \\
 H_7 \\
 H_8 \\
 H_9 \\
 H_{10} \\
 \vdots \\
 H
 \end{bmatrix}$$

Gambar 2.5 Pembentukan Matriks



Gambar 2.6 Skema Diskritisasi Penerima Volumetrik

BAB 3 KOMPUTASI MATLAB

Dalam penelitian ini, tahap formulasi numerik dapat dikatakan konversi pemodelan matematika secara diskrit dari metode volume hingga dengan diskritisasi *QUICK*. Solusi numerik tersebut dapat diformulasikan dengan bahasa MATLAB. Nilai koefisien yang diketahui pada proses perpindahan panas pada penerima volumetrik disubstitusikan dalam program MATLAB sehingga hasil yang diperoleh berupa data tabel temperatur dan grafik.

Pada penelitian ini dilakukan dua kali tahap simulasi program Matlab. Simulasi pertama yaitu untuk mengetahui proses perpindahan panas pada penerima volumetrik di menara surya terhadap kecepatan angin. Kecepatan angin yang digunakan pada simulasi ini yaitu 2 m/s ; $2,5 \text{ m/s}$; dan 3 m/s . Adapun program matlab yang dijalankan untuk simulasi tersebut adalah :

```
clear all;
clc;
disp('-----');
disp('      By : Putri Nur Amalina      ');
disp('      130210101058      ');
disp('      SIMULASI PERPINDAHAN PANAS PADA PENERIMA
VOLUMETRIK      ');
disp('      Menggunakan Metode Gauss Seidell      ');
disp('-----');
%TAHAP INPUT
m=input('Masukkan diskritisasi pada sumbu X =');
n=input('Masukkan diskritisasi pada sumbu Y =');
Ubar1=2;
Ubar2=3;
dUbar=(Ubar2-Ubar1)/2;           %interval kecepatan angin searah sumbu-x
(m/s)
xall_plot=[];
X0=zeros(m,1);
X0(1:1:m)=373;
```

%TAHAP INISIALISASI

```

rho=1.18;          % massa jenis udara (kg/m3)
miu=1.6*(10^-5);  % viskositas udara (kg/m s)
UR=0.3;
VR=1.7;
Vbar=2;           % kecepatan angin searah sumbu-y (m/s)
deltat=0.0089;
deltax=0.0291;
deltay=0.0934;
g=10;             % percepatan gravitasi (m/s2)
Pt=10;            % tekanan (N/m2)
kons=0.026;       % konduktivitas (W/m-°C)
dia=0.802;
mass=10;
Cpfl=3.78;        % kapasitas panas spesifik(J/kg-°C)
Tout=400;         % Temperatur keluar (°C)
Tin=75;           % Temperatur masuk (°C)
G0=5.87;          % radiasi (W/m2)
Al=32;            % luasan (m2)
etha=(mass*Cpfl*(Tout-Tin))/(G0*Al);
Xall_plot=[];
N=50; %iterasi maksimal
for Ubar=Ubar1:dUbar:Ubar2; % kecepatan angin sumbu x
    X_all=[];
    %TAHAP PENDEFINISIAN MATRIKS
    A=[((1/8)*rho*etha*UR*deltay*deltat)-(((rho^2)*deltax*(deltay^2)
    *deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-((kons*deltay*deltat)/deltax)-
    (2*kons*deltat)-((kons*deltax*deltat)/deltay)))]];
    B=[-((7/8)*rho*etha*UR*deltay*deltat)+((7*(rho^2)*deltax*
    (deltay^2)*deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-((kons*deltay*deltat)/deltax)-
    (2*kons*deltat)-((kons*deltax*deltat)/deltay)))]];

```

$$C = \left[\left(\frac{3}{8} \right) \rho \cdot \text{etha} \cdot UR \cdot \text{deltay} \cdot \text{deltat} + \left(\frac{3}{8} \right) \rho \cdot \text{etha} \cdot VR \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltat} - \left(\frac{3 \cdot (\rho^2) \cdot \text{deltax} \cdot (\text{deltay}^2) \cdot \text{deltat}}{8 \cdot ((\rho \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltay}) - ((\text{kons} \cdot \text{deltay} \cdot \text{deltat}) / (\text{deltax})) - (2 \cdot \text{kons} \cdot \text{deltat}) - ((\text{kons} \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltat}) / (\text{deltay})))} \right) - \left(\frac{3 \cdot (\rho^2) \cdot (\text{deltax}^2) \cdot \text{deltay} \cdot \text{deltat}}{8 \cdot ((\rho \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltay}) - ((\text{kons} \cdot \text{deltay} \cdot \text{deltat}) / (\text{deltax})) - (2 \cdot \text{kons} \cdot \text{deltat}) - ((\text{kons} \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltat}) / (\text{deltay})))} \right) \right];$$

$$D = \left[\left(\frac{3}{8} \right) \rho \cdot \text{etha} \cdot UR \cdot \text{deltay} \cdot \text{deltat} - \left(\frac{3 \cdot (\rho^2) \cdot \text{deltax} \cdot (\text{deltay}^2) \cdot \text{deltat}}{8 \cdot ((\rho \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltay}) - ((\text{kons} \cdot \text{deltay} \cdot \text{deltat}) / (\text{deltax})) - (2 \cdot \text{kons} \cdot \text{deltat}) - ((\text{kons} \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltat}) / (\text{deltay})))} \right) - \left(\frac{3 \cdot (\rho^2) \cdot (\text{deltax}^2) \cdot \text{deltay} \cdot \text{deltat}}{8 \cdot ((\rho \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltay}) - ((\text{kons} \cdot \text{deltay} \cdot \text{deltat}) / (\text{deltax})) - (2 \cdot \text{kons} \cdot \text{deltat}) - ((\text{kons} \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltat}) / (\text{deltay})))} \right) \right];$$

$$E = \left[\left(\frac{1}{8} \right) \rho \cdot \text{etha} \cdot VR \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltat} - \left(\frac{(\rho^2) \cdot (\text{deltax}^2) \cdot \text{deltay} \cdot \text{deltat}}{8 \cdot ((\rho \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltay}) - ((\text{kons} \cdot \text{deltay} \cdot \text{deltat}) / (\text{deltax})) - (2 \cdot \text{kons} \cdot \text{deltat}) - ((\text{kons} \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltat}) / (\text{deltay})))} \right) \right];$$

$$F = \left[- \left(\frac{7}{8} \right) \rho \cdot \text{etha} \cdot VR \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltat} + \left(\frac{7 \cdot (\rho^2) \cdot (\text{deltax}^2) \cdot \text{deltay} \cdot \text{deltat}}{8 \cdot ((\rho \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltay}) - ((\text{kons} \cdot \text{deltay} \cdot \text{deltat}) / (\text{deltax})) - (2 \cdot \text{kons} \cdot \text{deltat}) - ((\text{kons} \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltat}) / (\text{deltay})))} \right) \right];$$

$$G = \left[\left(\frac{3}{8} \right) \rho \cdot \text{etha} \cdot VR \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltat} - \left(\frac{3 \cdot (\rho^2) \cdot (\text{deltax}^2) \cdot \text{deltay} \cdot \text{deltat}}{8 \cdot ((\rho \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltay}) - ((\text{kons} \cdot \text{deltay} \cdot \text{deltat}) / (\text{deltax})) - (2 \cdot \text{kons} \cdot \text{deltat}) - ((\text{kons} \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltat}) / (\text{deltay})))} \right) \right];$$

$$H = \left[-(\text{Pt} \cdot \text{deltay} \cdot \text{deltat}) - (\text{Pt} \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltat}) + \left(\frac{2 \cdot \text{miu} \cdot UR \cdot \text{deltay} \cdot \text{deltat}}{(\text{deltax})} + \left(\frac{2 \cdot \text{miu} \cdot VR \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltat}}{(\text{deltay})} + (\rho \cdot g \cdot \text{deltay} \cdot \text{deltat}) + (\rho \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltat}) - (\text{Ubar} \cdot \text{dia} \cdot \text{deltay} \cdot \text{deltat}) - (\text{Vbar} \cdot \text{dia} \cdot \text{deltax} \cdot \text{deltat}) \right) \right];$$

$$K = \text{zeros}(m \cdot n : m \cdot n);$$

%pendefinisian untuk i-2,j

$$K(3:m \cdot n + 1 : (m \cdot n)^2 - 2 \cdot (m \cdot n)) = A;$$

$$K(m \cdot n \cdot (m - 2) + m + 1 : m \cdot (m \cdot n + 1) : m \cdot n \cdot (m \cdot n - 2)) = 0;$$

$$K(m \cdot n \cdot (m - 1) + m + 2 : m \cdot (m \cdot n + 1) : m \cdot n \cdot (m \cdot n - 2)) = 0;$$

%pendefinisian untuk i-1,j

```

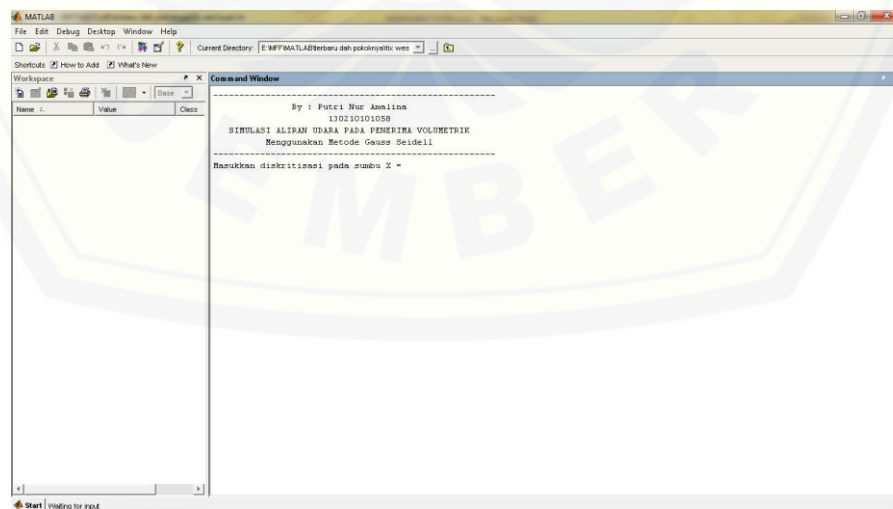
K(2:m*n+1:m*n*(m*n-1))=B;
K(m*n*(m-1)+m+1:m*(m*n+1):m*n*(m*n-1))=0;
%pendefinisian untuk i,j
K(1:m*n+1:m^2*n^2)=C;
%pendefinisian untuk i+1,j
K(m*n+1:m*n+1:m^2*n^2-1)=D;
K(m^2*n+m:m*(m*n+1):m*n*(m*n-1))=0;
%pendefinisian untuk i,j-2
K(m^2+1:m*n+1:m^2*n*(n-2))=E;
%pendefinisian untuk i,j-1
K(m+1:m*n+1:m^2*n*(n-1))=F;
%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;
    %PENGERJAAN MATRIKS
    R1=X0;
    Tol=0.01
    w=length(L);
    X1=X0;
    for k=1:N
        for i=1:w
            S=L(i)-K(i,1:i-1)*X1(1:i-1)-K(i,i+1:w)*X0(i+1:w);
            X1(i)=S/K(i,i);
        end
        e=abs(X1-X0);
        error=norm(e);
        reller=error/(norm(X1)*eps);
        X0=X1;
        R1=[R1,X0];
        if(error<Tol)|(reller<Tol)
            break
    
```

```

end
end
%disp(['besarnya error= ',num2str(error)]);
disp(['besarnya relatif error= ',num2str(reller)]);
R1;
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')
title('simulasi perpindahan panas pada penerima volumetrik')
legend(strcat('kecepatan= ',num2str((Ubar1:dUbar:Ubar2))));
grid on;
hold on;
disp('Gauss-Seidel method converged');

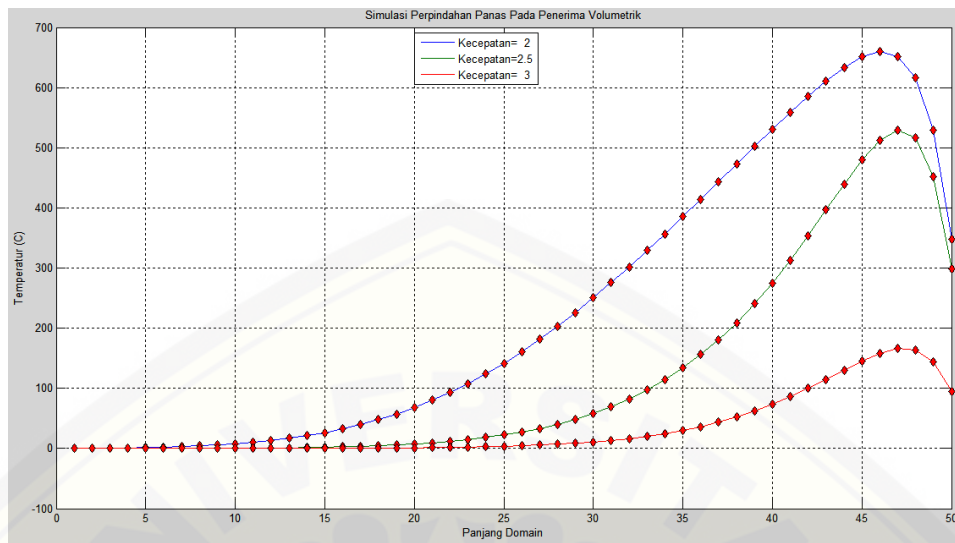
```

Kemudian klik “save and run” atau tekan tombol F5 maka akan muncul *command windows* berikut ini :



Gambar 3.1 *Command Window* pada Program MATLAB

Input nilai yang diminta lalu tekan “enter”. Kemudian akan muncul grafik pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Grafik Perpindahan Panas Pada Penerima Volumetrik di Menara Surya Berdasarkan Kecepatan

Pada Gambar 3.2, terdapat 3 grafik yang berbeda aliran dan mengalami kenaikan. Semakin panjang domain maka temperatur mengalami kenaikan, artinya temperatur pada penerima volumetrik mengalami kenaikan secara bertahap dalam beberapa waktu. Berdasarkan Lovegrove (2012), semakin besar kecepatan angin maka temperatur pada penerima volumetrik akan semakin rendah. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.7, ketika kecepatan angin 2 m/s menghasilkan suhu tertinggi yaitu 659.38°C ; kecepatan angin $2,5\text{ m/s}$ menghasilkan suhu tertinggi yaitu 529.72°C ; dan ketika kecepatan angin 3 m/s menghasilkan suhu tertinggi yaitu 166.1°C . Hal ini dapat diketahui bahwa kecepatan angin mempengaruhi temperatur di penerima volumetrik.

Untuk simulasi kedua dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur awal pada temperatur di penerima volumetrik. Temperatur awal yang digunakan yaitu 27°C , 32°C , dan 37°C . Adapun program matlab yang digunakan dalam simulasi udara dipengaruhi temperatur awal yaitu :

```
clear all;
clc;
disp('-----');
```

```

disp('          By : Putri Nur Amalina          ');
disp('          130210101058          ');
disp('          SIMULASI PERPINDAHAN PANAS PADA PENERIMA
VOLUMETRIK          ');
disp('          Menggunakan Metode Gauss Seidell          ');
disp('-----');
%TAHAP INPUT
m=input('Masukkan diskritisasi pada sumbu X =');
n=input('Masukkan diskritisasi pada sumbu Y =');
Tin1=27;
Tin2=37;
dTin=(Tin2-Tin1)/2;          %interval temperatur awal(°C)
X0=zeros(m,1);
X0(1:1:m)=80;
%TAHAP INISIALISASI
rho=80          %massa jenis udara (kg/m3)
miu=1.6*(10^-5);          %viskositas udara (kg/m s)
UR=0.311;
VR=1.825;
Ubar=3;          %kecepatan angin searah sumbu-x(m/s)
Vbar=2;          %kecepatan angin searah sumbu-y(m/s)
eps=1000;
deltat=0.0021;
deltax=0.0299;
deltay=0.0941;
g=10;          %percepatan gravitasi(m/s2)
Pt=10;          %tekanan (N/m2)
kons=0.009;          %konduktivitas(W/m-°C)
dia=0.999;
mass=10;
Cpfl=3.78;          %kapasitas panas spesifik(J/kg-°C)
Tout=700;          %temperatur keluar(°C)

```


G0=5.98; %radiasi(W/m2)

Al=0.99; %luasan(m2)

Xall_plot=[];

N=50; %iterasi maksimal

for Tin=Tin1:dTin:Tin2; % kecepatan angin sumbu x

 etha=(mass*Cpfl*(Tout-Tin))/(G0*Al);

 X_all=[];

 %TAHAP PENDEFINISIAN MATRIKS

 A=[((1/8)*rho*etha*UR*deltay*deltat)-
 (((rho^2)*deltax*(deltay^2)*deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-
 ((kons*deltay*deltat)/deltax)-(2*kons*deltat)-
 ((kons*deltax*deltat)/deltay)))];

 B=[-((7/8)*rho*etha*UR*deltay*deltat)+((7*(rho^2)*deltax
 *(deltay^2)*deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-((kons*deltay*deltat)/deltax)-
 (2*kons*deltat)-((kons*deltax*deltat)/deltay)))];

 C=[((3/8)*rho*etha*UR*deltay*deltat)+((3/8)*rho*etha*VR*deltax*deltat)-
 ((3*(rho^2)*deltax*(deltay^2)*deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-
 ((kons*deltay*deltat)/(deltax))-(2*kons*deltat)-
 ((kons*deltax*deltat)/(deltay)))])-
 ((3*(rho^2)*(deltax^2)*deltay*deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-
 ((kons*deltay*deltat)/(deltax))-(2*kons*deltat)-
 ((kons*deltax*deltat)/(deltay)))]);

 D=[((3/8)*rho*etha*UR*deltay*deltat)-
 ((3*(rho^2)*deltax*(deltay^2)*deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-
 ((kons*deltay*deltat)/(deltax))-(2*kons*deltat)-
 ((kons*deltax*deltat)/(deltay)))]);

 E=[((1/8)*rho*etha*VR*deltax*deltat)-
 (((rho^2)*(deltax^2)*deltay*deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-
 ((kons*deltay*deltat)/(deltax))-(2*kons*deltat)-
 ((kons*deltax*deltat)/(deltay)))]);

```

F=[-((7/8)*rho*etha*VR*deltax*deltat)+((7*(rho^2)*
(deltax^2)*deltay*deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-
((kons*deltay*deltat)/(deltax))-(2*kons*deltat)-
((kons*deltax*deltat)/(deltay))))));
G=[((3/8)*rho*etha*VR*deltax*deltat)-
((3*(rho^2)*(deltax^2)*deltay*deltat)/(8*((rho*deltax*deltay)-
((kons*deltay*deltat)/(deltax))-(2*kons*deltat)-
((kons*deltax*deltat)/(deltay))))));
H=[-(Pt*deltay*deltat)-
(Pt*deltax*deltat)+((2*miu*UR*deltay*deltat)/(deltax))+((2*miu*VR*deltax
*deltat)/(deltay))+rho*g*deltay*deltat+(rho*deltax*deltat)-
(Ubar*dia*deltay*deltat)-(Vbar*dia*deltax*deltat)];
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

```

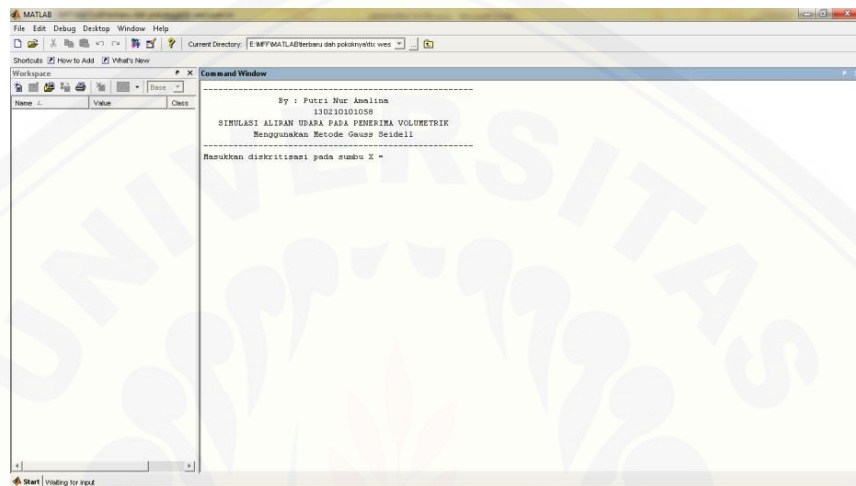
```

L(1:(m*n),1)=H;
%PENGGERJAAN MATRIKS
Tol=0.01;
R1=X0';
w=length(L);
X1=X0;
for k=1:N
    for i=1:w
        S=L(i)-K(i,1:i-1)*X1(1:i-1)-K(i,i+1:w)*X0(i+1:w);
        X1(i)=S/K(i,i);
    end
    e=abs(X1-X0);
    error=norm(e);
    reller=error/(norm(X1)*eps);
    X0=X1;
    R1=[R1,X0'];
    if(error<Tol)|(reller<Tol)
        break
    end
end
%disp(['besarnya error= ',num2str(error)]);
disp(['besarnya relatif error= ',num2str(reller)]);
R1;
X1;
X_all=[X_all X1];
Xall_plot=[Xall_plot X_all(:,end)];
end
%PLOT GRAFIK
plot(1:(m*n),Xall_plot(:,1),1:(m*n),Xall_plot(:,2),'rd','MarkerEdgeColor','K','M
arkerFaceColor','r');
xlabel('panjang domain')
ylabel('temperatur')

```

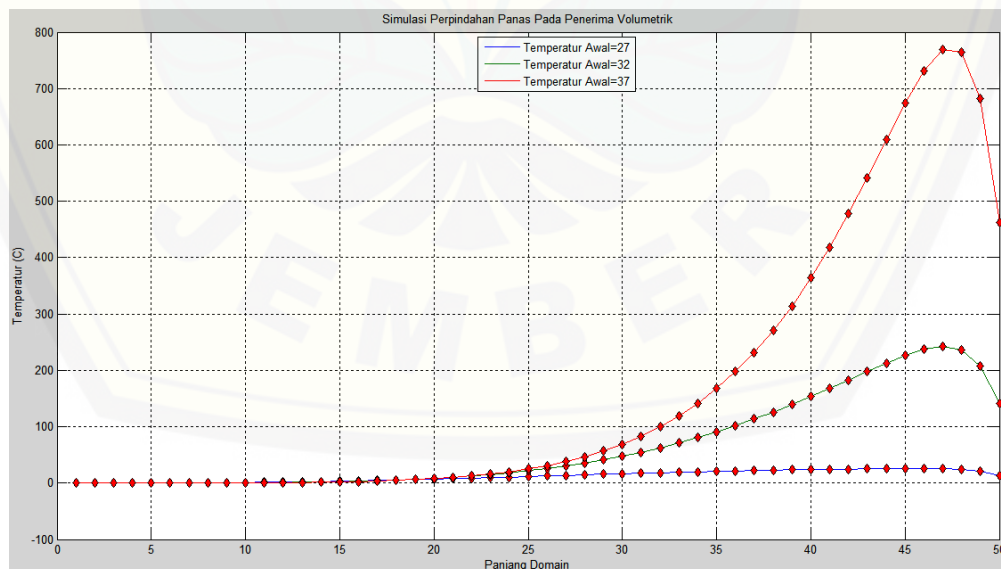
```
title('simulasi perpindahan panas pada penerima volumetrik')
legend(strcat('temperatur awal= ',num2str((Tin1:dTin:Tin2))));
grid on;
hold on;
disp('Gauss-Seidel method converged');
```

Kemudian klik “save and run” atau tekan tombol F5 maka akan muncul *command windows* berikut ini :



Gambar 3.3 *Command Window* pada Program MATLAB

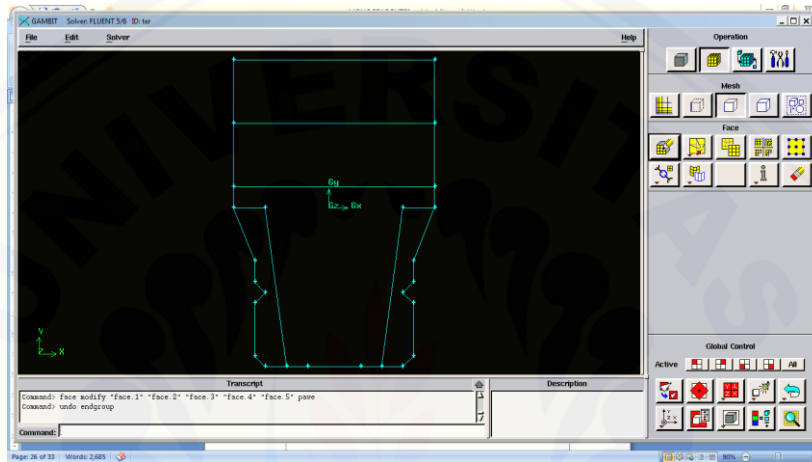
Input nilai yang diminta lalu tekan “enter”. Kemudian akan muncul grafik pada Gambar



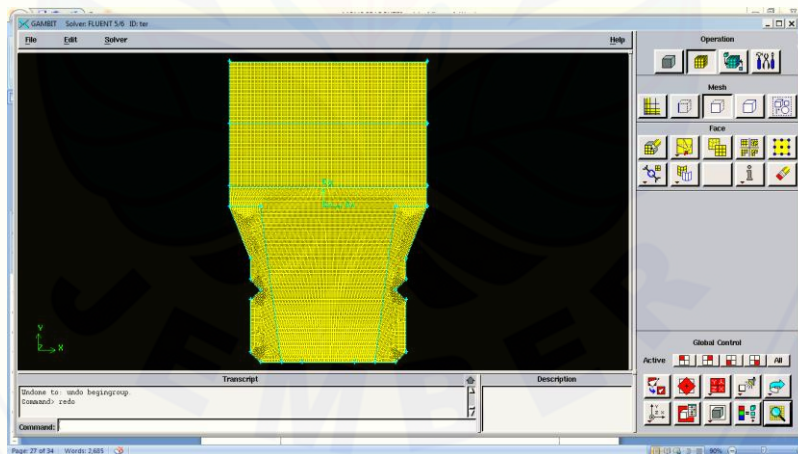
Gambar 3.4 Grafik Aliran Udara Pada Penerima Volumetrik di Menara Surya Berdasarkan Temperatur

BAB 4 SIMULASI FLUENT

Pada hasil simulasi dengan aplikasi FLUENT, terlebih dahulu dibuat desain geometri dari benda yang akan diteliti pada Gambit. Pada Gambar 4.1 merupakan desain geometri dari penerima volumetrik di menara surya menggunakan GAMBIT sebelum dilakukan proses mesh. Sedangkan Gambar 4.2 merupakan desain geometri dari penerima volumetrik di menara surya menggunakan GAMBIT sesudah dilakukan proses mesh.



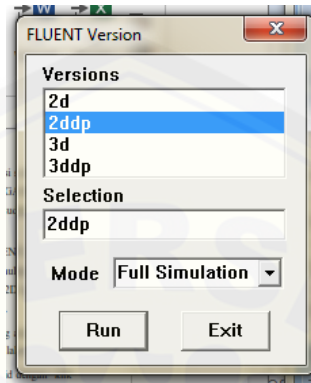
Gambar 4.1 Desain Geometri Penerima Volumetrik Menggunakan GAMBIT sebelum mesh



Gambar 4.2 Desain Geometri Penerima Volumetrik Menggunakan GAMBIT sesudah mesh

Setelah proses mesh, langkah selanjutnya mendefinisikan sisi penerima volumetri sebagai porous jump, wall, inlet dan outlet. Kemudian save desain yang telah dibuat menggunakan GAMBIT dengan klik **File** → **Export** → **Mesh**. Jika desain selesai di save, maka langkah selanjutnya melakukan simulasi menggunakan FLUENT.

Sebelum simulasi menggunakan FLUENT, pilih versi FLUENT yang akan dijalankan sesuai dengan desain GAMBIT yaitu 2 dimensi. Maka versi yang akan digunakan adalah 2ddp, jika desain yang digunakan 3 dimensi maka versi yang digunakan yaitu 3ddp. Pilih 2ddp dan klik “run” seperti Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Versi pada FLUENT

Pada Gambar merupakan tampilan awal program FLUENT, untuk membuka file desain dari GAMBIT yang akan disimulasikan dengan pilih menu **File**→**Read**→**Case** kemudian pilih nama file lalu klik **Pilih**.

Selanjutnya melakukan *check* grid dengan klik menu **Grid**→**Check** serta **Grid**→**Smooth/Swap**. Kemudian pilih menu **Difine**→**Models**→**Solver**, dan tentukan simulasi tersebut dipengaruhi waktu atau tidak yaitu **Steady** atau **Unsteady**. Langkah selanjutnya menentukan jenis aliran fluida dengan pilih menu **Difine**→**Models**→**Vicous** dan menentukan jenis aliran laminar atau k-epsilon. Kemudian pilih menu **Difine**→**Models**→**Energy**, klik **Energy Equations**.

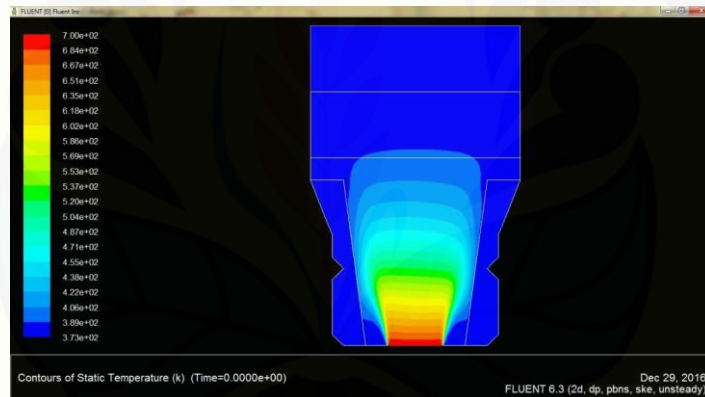
Pada penelitian ini material yang digunakan adalah udara maka pilih menu **Difine** →**Materials**, jika material telah diganti, pilih **Copy**→**Close**. Kemudian mendefinisikan nilai-nilai pada simulasi dengan pilih menu **Difine**→**Boundary Conditions**. Selanjutnya pada pilihan porous jump, wall, inlet dan outlet, masukkan nilai-nilai yang dibutuhkan sesuai data.

Melakukan proses iterasi dengan pilih menu **Solve**→**Intialize** lalu memasukkan nilai awal simulasi. Untuk mengaktifkan pengeplotan residu dengan klik menu **Solve**→**Monitor**→**Residual**, centang **Plot** lalu **OK**.

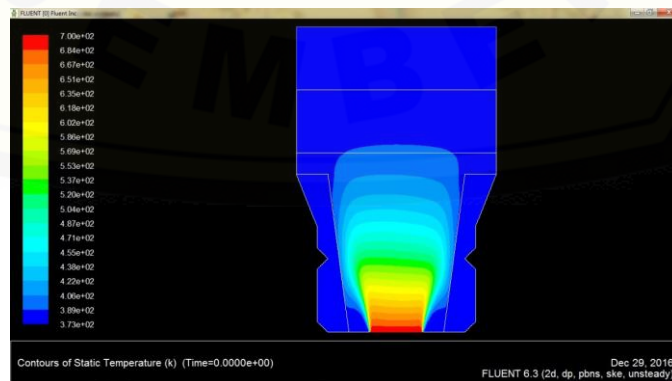
Untuk memulai iterasi dengan pilih menu **Solve**→**Iterate** lalu masukkan nilai iterasi. Jika proses iterasi belum mengalami konvergen maka melanjutkan sedangkan jika titik konvergen. Selanjutnya menampilkan *contour* dengan pilih menu **Display**→**Contours**.

Pada simulasi pertama yaitu untuk mengetahui temperatur di penerima volumetrik jika dipengaruhi kecepatan angin. Simulasi dilakukan dengan kecepatan angin 2 m/s ; $2,5\text{ m/s}$; dan 3 m/s .

Pada Gambar 4.4 merupakan kontur temperatur udara pada penerima volumetrik dengan kecepatan 2 m/s . Pada awal masuk pada penerima volumetrik, temperatur udara berwarna biru yang menunjukkan suhu lingkungan. Namun, terjadi perubahan warna menjadi biru muda, hijau, kuning dan merah pada ujung penerima volumetrik. Maka dapat diketahui bahwa temperatur di dalam penerima volumetrik mengalami kenaikan daripada temperatur awal masuk penerima volumetrik.

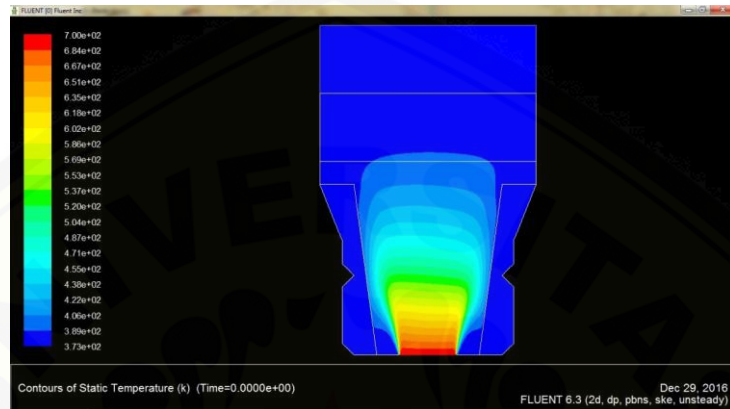


Gambar 4.4 Kontur Temperatur pada Penerima Volumetrik dengan Kecepatan 2 m/s



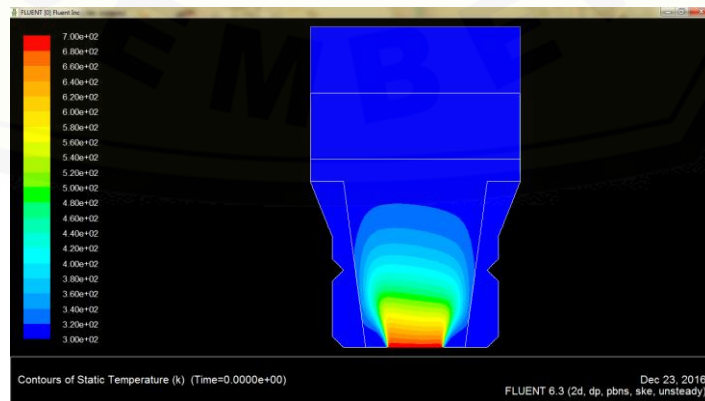
Gambar 4.5 Kontur Temperatur pada Penerima Volumetrik dengan Kecepatan $2,5\text{ m/s}$

Pada Gambar 4.6 juga merupakan kontur temperatur pada penerima volumetrik tetapi dengan kecepatan 3 m/s. Dapat dilihat bahwa temperatur pada penerima volumetrik juga mengalami kenaikan. Seperti Gambar 4.5, perubahan yang terjadi pada Gambar 4.6 tidak terlalu signifikan tetapi daerah terjadinya kenaikan temperatur juga mengalami penurunan dibandingkan Gambar 4.4.



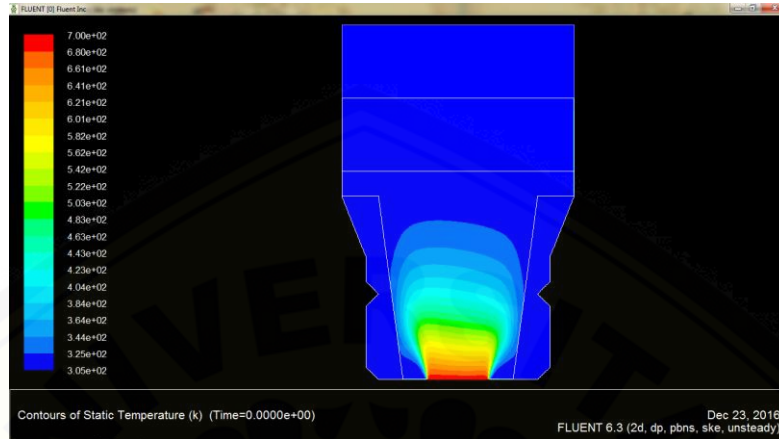
Gambar 4.6 Kontur Temperatur pada Penerima Volumetrik dengan Kecepatan 3 m/s

Simulasi kedua yaitu untuk mengetahui temperatur udara pada penerima volumetrik jika dipengaruhi dengan temperatur awal. Pada Gambar 4.7 merupakan kontur temperatur pada penerima volumetrik dengan temperatur awal 27°C. Temperatur pada penerima volumetrik mengalami kenaikan temperatur, dapat dilihat bahwa terjadi perubahan warna yang awalnya berwarna biru yang menunjukkan suhu lingkungan semakin lama berubah menjadi warna merah.



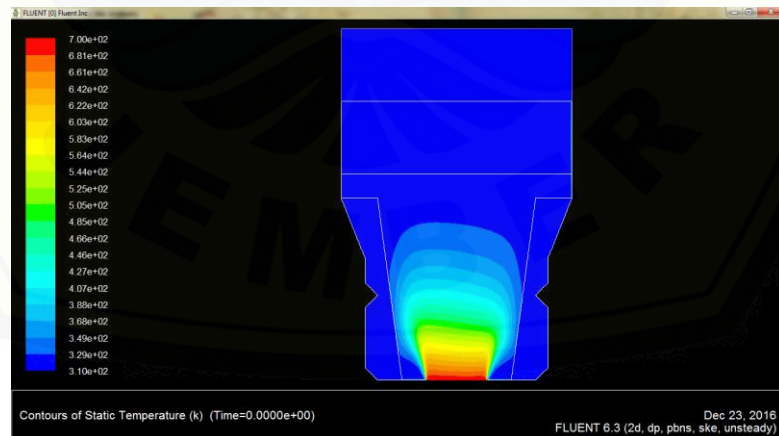
Gambar 4.7 Kontur Temperatur pada Penerima Volumetrik dengan Temperatur Awal 27°C

Selanjutnya Gambar 4.8 merupakan kontur temperatur pada penerima volumetrik dengan temperatur awal 32°C . Gambar 4.9 merupakan kontur temperatur pada penerima volumetrik dengan temperatur awal 37°C



Gambar 4.8 Kontur Temperatur pada Penerima Volumetrik dengan Temperatur Awal 32°C

Pada Gambar 4.9 yang merupakan kontur temperatur pada penerima volumetrik dengan temperatur awal 37°C . Gambar 4.9 juga mengalami kenaikan temperatur seperti Gambar 4.7 dan Gambar 4.8. Gambar 4.9 sama dengan Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 tetapi besar temperatur ketika berwarna biru tua menunjukkan besar temperatur yaitu 37°C .



Gambar 4.9 Kontur Temperatur pada Penerima Volumetrik dengan Temperatur Awal 37°C

BAB 5 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, maka dapat diambil kesimpulan :

1. Model matematika perpindahan panas pada penerima volumetrik di menara surya merupakan persamaan yang menyatakan persamaan momentum dan persamaan energi yang bergantung pada kecepatan angin, diselesaikan secara numerik dengan metode volume hingga dengan teknik diskritisasi *QUICK*.

$$\begin{aligned} & \phi_e \left(\rho \eta u \Delta y \Delta t - \frac{\rho^2 \Delta x \Delta y^2 \Delta t}{\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} \right) + \\ & \phi_w \left(\frac{\rho^2 \Delta x \Delta y^2 \Delta t}{\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} - \rho \eta u \Delta y \Delta t \right) + \\ & \phi_n \left(\rho \eta v \Delta y \Delta t - \frac{\rho^2 \Delta x^2 \Delta y \Delta t}{\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} \right) + \\ & \phi_s \left(\frac{\rho^2 \Delta x^2 \Delta y \Delta t}{\rho \Delta x \Delta y - k \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} - 2k \Delta t - k \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y}} - \rho \eta v \Delta y \Delta t \right) = \\ & -P \Delta y \Delta t - P \Delta x \Delta t + 2\mu \frac{u}{\Delta x} \Delta y \Delta t + 2\mu \frac{v}{\Delta y} \Delta x \Delta t + \\ & \rho g \Delta y \Delta t + \rho g \Delta x \Delta t - \bar{u} d \Delta y \Delta t - \bar{v} d \Delta x \Delta t \end{aligned}$$

2. Berdasarkan model matematika perpindahan panas pada penerima volumetrik di menara surya menggunakan metode volume hingga dengan menggunakan *software Matlab* dan *FLUENT*, hasil analisis yang didapat yaitu semakin besar kecepatan angin maka temperatur di penerima volumetrik mengalami penurunan. Sedangkan pengaruh temperatur awal pada penerima volumetrik, semakin besar temperatur awal maka semakin besar pula temperatur yang terjadi di penerima volumetrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Fatahillah, Arif. 2011. *Buku Pegangan Mata Kuliah Mathematical Modelling Computational Fluid Dynamics*. Jember : FKIP.
- Fatahillah, Arif. dkk. 2014. *The Analysis of Air Circulation on Coffe Plantation Based on the Level of Plants Roughness and Diamond Ladder Graph Cropping Pattern using Finite Volume Method*. Scholargoogle. Jember: University of Jember.
- L., Antonio. 2011. *Volumetric receivers in Solar Thermal Power Plants with Central Receiver System technology: A review*.
- Lovegrove, K. and Stein, W. 2012. *Concetrating Solar Power Technology: Principles, Development and Applications*. Oxford: Woodhead Publishing.
- Roldan, M.I., Reche, J.F., and Ballestrim, J. 2016. *Computational fluid dynamics evaluation of the operating conditions for a volumetric receiver installed in a solar power*. Spain: Elsevier.
- Sharma, P., et al. 2013. *On the design and evaluation of open volumetric air receiver for process heat applications*.

GLOSARIUM

- CFD : ilmu yang mempelajari tentang analisa aliran udara, perpindahan panas serta fenomena yang berhubungan dengan reaksi kimia dengan penyelesaian persamaan matematika dan menggunakan bantuan simulasi komputer.
- Metode Volume Hingga : salah satu metode pendekatan numerik menggunakan bentuk integral dari persamaan umum matematika untuk dilakukan diskritisasi
- Pemodelan Matematika : bidang matematika yang menyatakan suatu hubungan antara kejadian atau fenomena dengan beberapa variabel yang mempengaruhi kejadian tersebut
- Penerima Volumetrik : salah satu bagian dari menara surya yang berfungsi untuk menghasilkan panas
- Steady : kondisi laju perpindahan panas dalam suatu sistem tidak bergantung pada waktu
- Unsteady : kondisi laju perpindahan panas dalam suatu sistem yang bergantung pada waktu



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

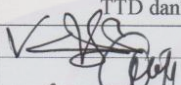
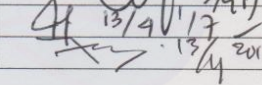

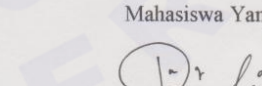
LEMBAR REVISI SKRIPSI

NAMA MAHASISWA : PUTRI NUR AMALINA
 NIM : 130210101058
 JUDUL SKRIPSI : ANALISIS MODEL MATEMATIKA PERPINDAHAN PANAS
 KONVEKSI PENERIMA VOLUMETRIK DI MENARA SURYA
 MENGGUNAKAN METODE VOLUME HINGGA DAN SEBAGAI
 MONOGRAF
 TANGGAL UJIAN : 4 APRIL 2017
 PEMBIMBING : 1. Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D
 2. Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.

MATERI PEMBETULAN / PERBAIKAN

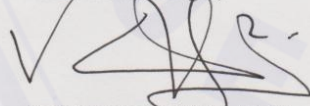
No.	HALAMAN	HAL-HAL YANG HARUS DIPERBAIKI
1.	cover	Perubahan judul
2.	iii	Penambahan terjemahan Surat Al-Baqarah [2:216]
3.	viii	Perbaikan penulisan ringkasan yang masih menggunakan kutipan
4.	2, 3	Perbaikan penulisan pada rumusan masalah
5.	35, 36	Perbaikan penulisan pada teknik penelitian
6.	39	Penambahan keterangan simbol
7.	62, 63, 66	Perbaikan penulisan desimal
8.	72, 73	Perbaikan kesimpulan

PERSETUJUAN TIM PENGUJI

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

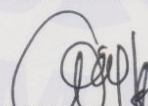
Jember, 13 April 2017
 Mengetahui / menyetujui :

Dosen Pembimbing I,



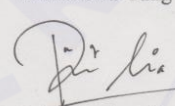
Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D
 NIP. 19680802 199303 1 004

Dosen Pembimbing II,



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

Mahasiswa Yang Bersangkutan



Putri Nur Amalina
 NIM. 130210101058

Mengetahui,
 Ketua Jurusan P.MIPA

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