



**ANALISIS SIRKULASI UDARA PADA SISTEM
PERNAFASAN MANUSIA MENGGUNAKAN
METODE VOLUME HINGGA**

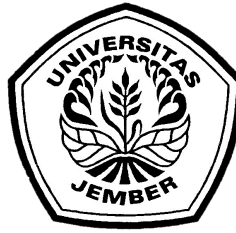
SKRIPSI

Oleh

**Andhi Septian Hadi Putra
NIM 100210101062**

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

2017



**ANALISIS SIRKULASI UDARA PADA SISTEM
PERNAFASAN MANUSIA MENGGUNAKAN
METODE VOLUME HINGGA**

SKRIPSI

Oleh

Andhi Septian Hadi Putra

NIM 100210101062

Dosen Pembimbing I : Drs. Suharto, M.Kes.

Dosen Pembimbing II : Arif Fatahillah, S.Pd., 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 sebuah kebahagiaan dalam perjalanan hidupku teriring rasa terima kasihku yang terdalam kepada:

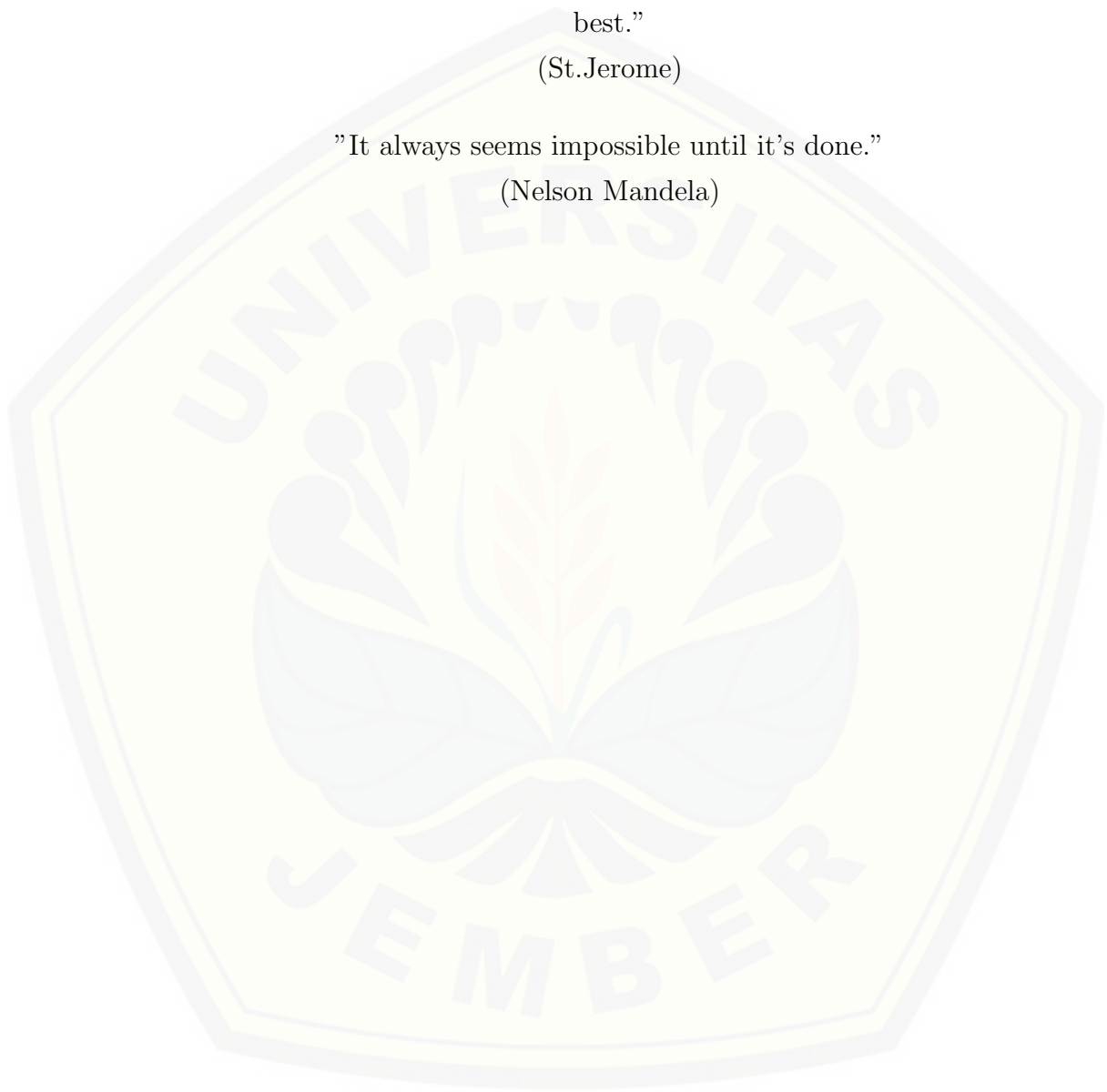
1. Almarhum Kakek Marsaid, Ibunda Sumartin dan Nenek Tuminem, yang senantiasa mengalirkan rasa cinta, kasih sayang serta cucuran keringat dan doa yang tiada pernah putus yang selalu mengiringiku dalam meraih cita-cita;
2. Semua guruku dari SD, SMP, dan SMA yang telah membimbingku dengan sabar dan tulus;
3. Bapak Drs. Suharto, M.Kes. dan Arif Fatahillah, S.Pd, M.Si. selaku pembimbing skripsi yang dengan sabar telah memberikan ilmu dan bimbingan selama menyelesaikan skripsiku;
4. Teman-teman FKIP Matematika yang senantiasa membantuku dan kebersamaan kita adalah kenangan yang tak terlupakan,
5. Rekan-rekan kerja (Pak Edi, Bu Yuni, Mbak Rezki dan Mbak Fifin) yang tak pernah lelah mengingatkan untuk segera menyelesaikan kuliah.
6. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

HALAMAN MOTTO

”Sebuah tujuan tanpa rencana hanyalah sebuah harapan”
(Antoine de Saint - Exupery)

”Good, better, best. Never let it rest. ’Til your good is better and your better is
best.”
(St. Jerome)

”It always seems impossible until it’s done.”
(Nelson Mandela)



HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andhi Septian Hadi Putra

NIM : 100210101062

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: *"Analisis Sirkulasi Udara pada Sistem Pernafasan Manusia Menggunakan Metode Volume Hingga"* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, Juni 2017

Yang menyatakan,

Andhi Septian H.P.

NIM 100210101062

PENGAJUAN

**ANALISIS SIRKULASI UDARA PADA SISTEM PERNAFASAN
MANUSIA MENGGUNAKAN METODE VOLUME HINGGA**

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 : Andhi Septian Hadi Putra
NIM : 100210101062
Tempat dan Tanggal Lahir : Jember, 19 September 1992
Jurusan / Program : Pendidikan MIPA / P. Matematika

Disetujui oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Drs. Suharto, M.Kes.
NIP. 195406271983031002

Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.
NIP. 198205292009121003

SKRIPSI

ANALISIS SIRKULASI UDARA PADA SISTEM PERNAFASAN MANUSIA
MENGUNAKAN METODE VOLUME HINGGA

Oleh

ANDHI SEPTIAN HADI PUTRA

NIM 100210101062

Pembimbing

Dosen Pembimbing I : Drs. Suharto, M.Kes.

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul Analisis Sirkulasi Udara pada Sistem Pernafasan Manusia Menggunakan Metode Volume Hingga telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan pada:

Hari : Jum'at

Tanggal : 2 Juni 2017

Tempat : Gedung 3 FKIP UNEJ

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Susi Setiawani, S.Si., M.Sc.
NIP. 197003071995122001

Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.
NIP. 198205292009121003

Anggota I,

Anggota II,

Drs. Suharto, M.Kes.
NIP. 195406271983031002

Dr. Susanto, M.Pd
NIP. 196306161988021001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan

Universitas Jember,

Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D.

NIP. 196808021993031004

RINGKASAN

ANALISIS SIRKULASI UDARA PADA SISTEM PERNAFASAN MANUSIA MENGGUNAKAN METODE VOLUME HINGGA, Andhi Septian H.P., 100210101062, 2017, 72 Halaman

Matematika merupakan ilmu yang mendasari pengembangan ilmu-ilmu lainnya. Hal ini dikarenakan pada sebagian disiplin ilmu tertentu, matematika sering digunakan untuk membantu dalam menyelesaikan berbagai permasalahan. Matematika sangat erat kaitannya pada bidang lingkungan. Adapun dalam hal ini yaitu mengenai sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia.

Tahapan kegiatan penelitian meliputi, pertama, menentukan model matematika aliran sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia. Tahapan ini meliputi studi pustaka tentang sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia kemudian membuat model dengan peninjauan kontinuitas massa, perubahan momentum dan energi dengan menggunakan Metode Volume Hingga. Kedua, menentukan diskritisasi model matematika sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia. Ketiga, membuat program matematika tentang sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia dengan MATLAB untuk mengetahui kecepatan aliran udara pada sistem pernafasan manusia.

Hasil penelitian disimpulkan sebagai berikut, pertama, model matematika sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia adalah persamaan yang diselesaikan dengan metode volume hingga yang dinyatakan dalam persamaan momentum dan kontinuitas massa. Berikut ini adalah persamaannya.

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial \rho_u \phi_e}{\partial x} - \frac{\partial \rho_u \phi_w}{\partial x} + \frac{\partial \rho_v \phi_n}{\partial y} - \frac{\partial \rho_v \phi_s}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y} + f_x + f_y + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

Kedua, persamaan tersebut diuji dengan program MATLAB dengan memasukkan kecepatan awal 0,1 m/s , 0,2 m/s dan 0,3 m/s serta bilangan Prandtl 0,8 , 0,9 dan 1 sesuai dengan literatur yang digunakan. Simulasi ini untuk mengetahui

apakah ada pengaruh antara kecepatan awal dan bilangan Prandtl terhadap kecepatan aliran udara pada sistem pernafasan manusia. Setelah disimulasikan dengan program MATLAB didapat hasil bahwa kecepatan aliran udara cenderung turun samai berikisar di angka 0,12 m/s sampai 0,19 m/s dikarenakan tubuh manusia memiliki batas kecepatan yang diterima. Jika kecepatan yang terjadi lebih dari angka tersebut dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan pada organ manusia.

Ketiga, alam proses pernafasan aliran udara mengalir dari hidung ke trakea dan sampai di bronkus. Pengamatan ini disimulasikan dengan program FLUENT.

Keempat, persamaan sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia adalah model yang akurat dalam menyelesaikan kasus sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia karena persamaan ini memiliki *error* kurang dari 1%.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah Swt atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Analisis Sirkulasi Udara pada Sistem Pernafasan Manusia Menggunakan Metode Volume Hingga. 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 dan penghargaan yang sebesar-besarnya 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 dan Karyawan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;

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

Jember,
Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
PENGAJUAN	vi
HALAMAN BIMBINGAN	vii
HALAMAN PENGESAHAN	viii
RINGKASAN	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMBANG	xviii
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Model Matematika dan Pemodelan Matematika	5
2.2 Fluida	7
2.3 Sistem Pernafasan Pada Manusia	9
2.4 Metode Volume Hingga	11
2.4.1 Persamaan Energi	13
2.4.2 Persamaan Momentum	14
2.4.3 Kontinuitas Massa	15
2.5 Teknik Diskritisasi <i>Quadratic Upwind Interpolation Confective Kinematics</i> (QUICK)	15
2.6 Algoritma dan Pemrograman	17

2.6.1	MATLAB (Matrix Laboratory)	18
2.6.2	Metode SOR (<i>Successive Overrelaxation</i>)	19
2.6.3	Galat atau <i>Error</i>	23
2.7	Computational Fluid Dynamics (CFD)	24
2.8	GAMBIT dan FLUENT	27
2.8.1	GAMBIT (Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit)	27
2.8.2	FLUENT	28
2.9	Bahan Ajar	29
3	METODE PENELITIAN	31
3.1	Jenis Penelitian	31
3.2	Prosedur Penelitian	31
3.3	Tempat Penelitian	33
3.4	Definisi Operasional	33
3.5	Metode Pengumpulan Data	34
3.5.1	Metode Observasi	34
3.5.2	Metode Dokumentasi	34
3.6	Data dan Analisis Data	34
4	HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1	Persamaan Matematika Sirkulasi Udara pada Sistem Pernafasan Manusia	36
4.2	Penyelesaian Model Matematika	42
4.3	Diskritisasi	46
4.4	Bentuk Matriks $n \times n$ Hasil Diskretisasi Model Matematika Sirkulasi Udara pada Sistem Pernafasan Manusia Menggunakan Metode Volume Hingga dengan Teknik Diskretisasi <i>QUICK</i>	51
4.5	Efektivitas Metode Volume Hingga dengan Menggunakan Error Relatif Dalam Sirkulasi Udara Pada Sistem Pernafasan Manusia	56
4.5.1	Pogram Simulasi <i>MATLAB</i> dan <i>FLUENT</i>	56
4.5.2	Penggunaan <i>Error</i> Relatif Pada Metode Volume Hingga	58
4.5.3	Simulasi Program Model Sirkulasi Udara Pada Sistem Pernafasan Manusia	58

4.6	Hasil dan Pembahasan	59
4.6.1	Komputasi <i>MATLAB</i>	59
4.6.2	Simulasi <i>FLUENT</i>	64
4.6.3	Analisis Efektivitas Metode Volume Hingga Pada Sirkulasi Udara Pada Sistem Pernafasan Manusia	66
5	KESIMPULAN DAN SARAN	68
5.1	Kesimpulan	68
5.2	Saran	69
	DAFTAR PUSTAKA	70
	LAMPIRAN-LAMPIRAN	
A.	FORMAT <i>PROGRAMMING</i> MATLAB	73
B.	HASIL SIMULASI DENGAN METODE BIASA	87
C.	PERBANDINGAN METODE BIASA DAN METODE SOR	93

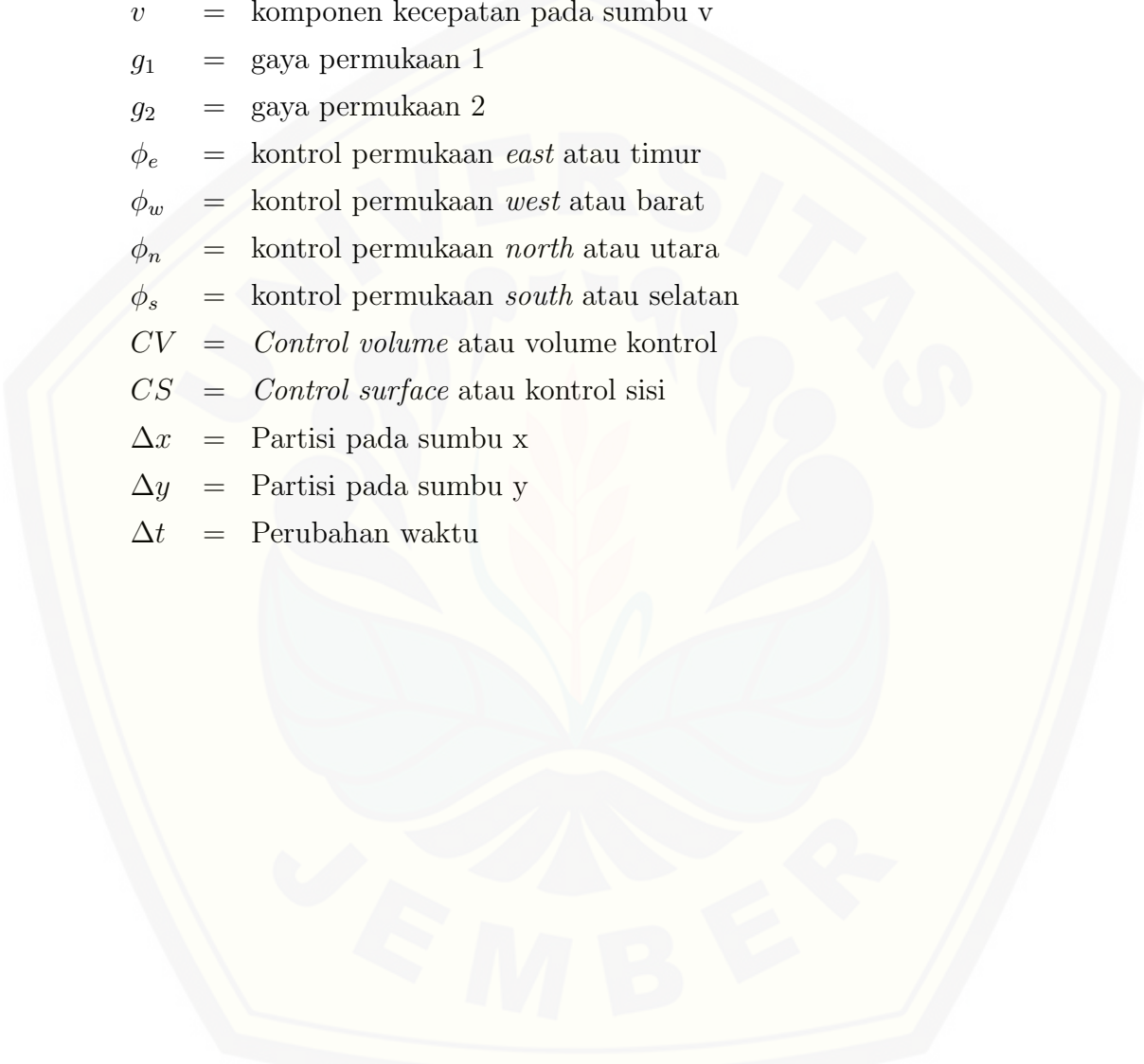
DAFTAR GAMBAR

2.1	Aliran laminar	8
2.2	Aliran turbulen	8
2.3	Bagian-bagian paru-paru manusia	10
2.4	Volume Kendali 2 Dimensi	12
2.5	Sel Pusat dan Sel Vertex	12
2.6	Bagan volume kendali persamaan energi	13
2.7	Bagan volume kendali persamaan momentum	14
2.8	Bagan volume kendali persamaan massa	15
2.9	Diskritisasi QUICK	16
2.10	Gambar matlab	19
2.11	Contoh gambar menggunakan aplikasi Gambit	27
2.12	Contoh gambar menggunakan aplikasi Fluent	29
2.13	Contoh bahan ajar	30
3.1	Bagan Penelitian	32
4.1	Bagan volume kendali persamaan massa	37
4.2	Bagan volume kendali persamaan momentum	39
4.3	Bagan volume kendali persamaan energi	41
4.4	Diskritisasi Teknik <i>QUICK</i> untuk Sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia	46
4.5	Skema Diskritisasi	52
4.6	Kecepatan Aliran Udara Berdasarkan Kecepatan Awal	60
4.7	Perbesaran Grafik Kecepatan Aliran Udara Berdasarkan Kecepatan Awal	60
4.8	Kecepatan Aliran Udara Berdasarkan Kecepatan Awal	61
4.9	Kecepatan Aliran Udara Berdasarkan Bilangan Prandtl	62
4.10	Perbesaran Grafik Kecepatan Aliran Udara Berdasarkan Bilangan Prandtl	63
4.11	Kecepatan Aliran Udara Berdasarkan Bilangan Prandtl	63

4.12 Visualisasi Kecepatan Aliran Udara	65
4.13 Visualisasi Tekanan Udara	65
4.14 Visualisasi Energi dalam Sistem Pernafasan Manusia	66
4.15 Kecepatan Aliran Udara pada Sistem Pernafasan Manusia	67



DAFTAR LAMBANG



C_p	=	Suhu Konstan
ΣF	=	Resultan Gaya
$\frac{\partial}{\partial t}$	=	derivatif fungsi waktu
ρ	=	massa jenis
m	=	massa
u	=	komponen kecepatan pada sumbu u
v	=	komponen kecepatan pada sumbu v
g_1	=	gaya permukaan 1
g_2	=	gaya permukaan 2
ϕ_e	=	kontrol permukaan <i>east</i> atau timur
ϕ_w	=	kontrol permukaan <i>west</i> atau barat
ϕ_n	=	kontrol permukaan <i>north</i> atau utara
ϕ_s	=	kontrol permukaan <i>south</i> atau selatan
CV	=	<i>Control volume</i> atau volume kontrol
CS	=	<i>Control surface</i> atau kontrol sisi
Δx	=	Partisi pada sumbu x
Δy	=	Partisi pada sumbu y
Δt	=	Perubahan waktu

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Matematika merupakan ilmu yang mendasari pengembangan ilmu-ilmu lainnya. Hal ini dikarenakan pada sebagian disiplin ilmu tertentu, matematika sering digunakan untuk membantu dalam menyelesaikan berbagai permasalahan. Matematika tidak hanya diterapkan oleh matematisasi, namun matematika juga kerap digunakan seorang dokter. Matematika sangat erat kaitannya pada bidang kesehatan. Adapun dalam hal ini yaitu mengenai sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia.

Pernafasan adalah pertukaran gas antara makhluk hidup (organisme) dengan lingkungan. Pernafasan adalah suatu proses dimana kita menghirup oksigen dari udara serta mengeluarkan karbon dioksida dan uap air). Respirasi adalah proses pembakaran (oksigen) zat-zat makanan (glukosa) di dalam sel-sel tubuh dengan bantuan oksigen dan enzim.

Paru-paru menempati sebagian besar ruangan rongga dada. Di dalam paru-paru bronkus bercabang-cabang membentuk saluran yang semakin kecil ukurannya. Saluran yang terkecil disebut bronkiolus. Pada setiap bronkiolus terdapat segerombol kantung kecil seperti anggur, berdinding tipis yang disebut alveolus. Pertukaran gas oksigen dan karbondioksida terjadi di antara alveolus dengan kapiler darah. Oksigen diikat oleh hemoglobin dan diedarkan ke seluruh tubuh. Seiring dengan kejadian tersebut, gas karbondioksida dikembalikan oleh sel-sel tubuh melalui kapiler darah. Karbondioksida akan meninggalkan tubuhmu pada saat mengeluarkan napas.

Salah satu jenis fluida adalah gas. Dalam sistem pernafasan manusia terjadi pertukaran gas, dengan kata lain terjadi aliran fluida dalam sistem pernafasan manusia. Dengan demikian studi aliran udara dalam sistem pernafasan manu-

sia memiliki peran yang penting untuk pemahaman, diagnosis dan pengobatan penyakit pada sistem pernafasan manusia.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode volume hingga. Hal ini karena metode numerik volume hingga dapat digunakan pada bentuk benda yang tidak teratur sehingga benda menjadi lebih mudah didiskritisasi untuk menentukan nilai-nilai yang akan dicari pada proses diskritisasi.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis akan menentukan model persamaan berdasarkan hukum fisika yaitu hukum momentum, energi, dan kontinuitas massa. Kemudian persamaan matematika diselesaikan dengan metode numerik volume hingga, setelah itu melakukan penanganan model matematika dengan menggunakan MATLAB dan FLUENT, dan selanjutnya menganalisis hasil yang didapat.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana model matematika sirkulasi udara pada sistem pernafasan pada manusia menggunakan metode volume hingga?
2. Bagaimana analisis kecepatan aliran udara pada sistem pernafasan pada manusia menggunakan metode volume hingga?
3. Bagaimana analisis bilangan Prandtl pada sistem pernafasan pada manusia menggunakan metode volume hingga?
4. Bagaimana efektifitas metode volume hingga dalam menganalisis masalah sirkulasi udara pada sistem pernafasan pada manusia?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Pemodelan sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia.
2. Proses yang dianalisis adalah aliran udara berdasarkan kecepatan aliran dan bilangan Prandtl.
3. Organ pernafasan yang diamati adalah trakea, bronkus, dan bronkiolus.

4. Diasumsikan dinding dari trakea, bronkus, dan bronkiolus pori-porinya sangat kecil sehingga dianggap udara tidak ada yang keluar dari dinding atau udara yang keluar dinding dianggap nol.
5. Persamaan model matematika yang digunakan adalah persamaan momentum, persamaan energi dan kontinuitas massa.
6. Diskritisasi menggunakan *Quadratic Upwind Interpolation Connective Kinematics (QUICK)*.
7. Analisis yang digunakan menggunakan bantuan software *Matlab* dan disimulasikan dengan FLUENT.
8. Organ pernafasan yang diteliti adalah organ pernafasan manusia dewasa yang sehat.
9. Kecepatan awal yang diinput adalah 0,1 m/s, 0,2 m/s dan 0,3 m/s sesuai dengan literatur yang digunakan.
10. Bilangan Prandtl yang digunakan adalah 0,8 , 0,9 dan 1 sesuai dengan literatur yang digunakan.
11. Panjang trakea yang digunakan adalah 30 cm sesuai literatur yang digunakan.

1.4 Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui model matematika sirkulasi udara pada sistem pernafasan pada manusia menggunakan metode volume hingga.
2. Mengetahui hasil analisis kecepatan aliran udara pada sistem pernafasan pada manusia menggunakan metode volume hingga.
3. Mengetahui hasil analisis bilangan Prandtl pada sistem pernafasan pada manusia menggunakan metode volume hingga.
4. Mendeskripsikan efektifitas metode volume hingga dalam menganalisis masalah sirkulasi udara pada sistem pernafasan pada manusia.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Menambah pengetahuan peneliti dalam bidang pemodelan matematika.
2. Sebagai informasi baru bagi peneliti di bidang kesehatan.
3. Sebagai acuan untuk peneliti lain dalam penelitian sejenis atau penelitian lebih lanjut.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Model Matematika dan Pemodelan Matematika

Pemodelan matematika adalah sebuah aktifitas matematika yang kompleks, dalam pengajaran dan pembelajaran dan pemodelan dan aplikasinya, melibatkan banyak aspek dari pemikiran matematika dan pembelajaran. Model matematika tidak hanya digunakan dalam pembelajaran matematika dan ilmu alam (seperti Fisika, Biologi, Ilmu Bumi, Meteorologi, dan Teknik) tetapi juga dalam ilmu sosial (seperti Ekonomi, Psikologi, Sosiologi). 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 nyata dalam pernyataan matematik, sehingga diperoleh pemahaman dari problem dunia nyata ini menjadi lebih tepat. Representasi matematika yang dihasilkan dari proses ini dikenal sebagai "Model Matematika". Kontruksi, analisis dan penggunaan model matematika dipandang sebagai salah satu aplikasi matematika yang paling penting (Widowati dan Sutimin, 2007:1).

Menurut Hazrul (dalam Sofiati, 2007:6-8) konsep pembuatan model matematika dapat dijelaskan melalui tahap-tahap sebagai berikut:

1. Menentukan masalah yang diselesaikan

Pada tahap ini peneliti harus berusaha memahami ilmu lain yang berhubungan dengan objek yang akan dikaji dan mengetahui teori-teori yang mendukung.

2. Perumusan model matematika

Proses ini merupakan tahap yang paling menentukan untuk menghasilkan solusi yang benar. Sebuah model matematika mempunyai dua komponen

yaitu struktur matematika (seperti pendefinisian variabel, hukum-hukum atau pemilihan simbol) dan penentuan interaksi dari variabel matematika melalui teori-teori yang berlaku di wilayah ilmu asal masalah. Dalam matematika interaksi atau perilaku variabel dinyatakan sebagai fungsi variabel. Pemilihan struktur matematika dan penerapan hukum-hukum ke dalam fungsi matematika harus dilakukan hati-hati. Sering kali untuk masalah yang kompleks diperlukan anggapan ideal. Anggapan ideal (penyederhanaan) dalam suatu model berguna untuk menurunkan masalah yang kompleks menjadi masalah-masalah khusus dengan keadaan dan syarat tertentu.

3. Penyelesaian model matematika

Sistem matematika yang diperlukan untuk menghasilkan solusi dalam tahap ini dapat diberlakukan. Banyak cabang matematika yang memainkan peranan, seperti statistika, transformasi kalkulus, persamaan diferensial, matematika kombinatorik, teori permainan atau matrik. Syarat penting penyelesaian matematika untuk menghasilkan solusi yang dibutuhkan adalah syarat keadaan, syarat ketunggalan, dan syarat kekontinuan pada parameter. Syarat keadaan menjamin bahwa solusi dari model ada dan tidak trivial. Solusi trivial kurang menarik dalam penelitian. Karena solusi trivial berarti identik dengan nol. Padahal dalam suatu penelitian yang menarik perhatian adalah perubahan, yang berarti solusinya tidak identik dengan nol. Syarat ketunggalan diberlakukan setelah menyertakan syarat batas yang dipilih. Syarat lain yang diperlukan adalah kekontinuan suatu nilai fungsi untuk model dengan variabel kontinu. Kekontinuan fungsi berarti nilai fungsi suatu variabel tidak memiliki beda yang sangat mencolok dengan nilai fungsi dari variabel sekitarnya.

4. Menjelaskan dan interpretasi solusi dalam masalah nyata

Solusi yang didapat dari penurunan persamaan matematika harus dapat menjawab masalah asal, karena ini merupakan tujuan yang ingin diperoleh. Proses ini memerlukan kerjasama dan pemahaman yang baik pada bidang ilmu yang masalahnya telah dibuatkan modelnya. Simbol

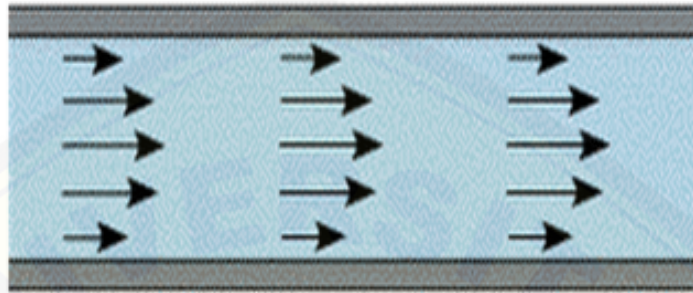
matematika yang konsisten, sistem pemecahan masalah yang terstruktur, dan ketaatan terhadap asas matematika, sangat membantu untuk melihat hubungan yang jelas dari variabel-variabel dalam fenomena. Pendefinisian sifat-sifat variabel dari hukum-hukum yang berlaku dapat menjelaskan interaksi antar variabel yang membangun fenomena, menghitung pada bermacam kondisi, dan menyimpulkan secara jelas. Model matematika akhirnya, menjadikan matematika mempunyai peranan langsung untuk menyelesaikan masalah kehidupan nyata atau membantu masalah ilmu lain agar lebih mudah dimengerti dan dipahami.

2.2 Fluida

Menurut White dan M. Frank (dalam Muhnabil, 2012. Tanggal Akses: 22 Juli 2014) Dalam konsep mekanika fluida semua bahan nampak berada dalam dua keadaan, yaitu sebagai zat padat dan cair (fluida). Kebanyakan bahan bisa disebut entah sebagai zat padat, zat cair, atau gas. Walaupun sebahagian diantaranya mempunyai sifat-sifat yang memungkinkan diperolehnya sebutan ganda. Sebuah zat padat umumnya mempunyai bentuk yang tertentu, sedangkan zat cair dan gas mempunyai bentuk yang ditetapkan oleh wadahnya sendiri (masing-masing). Perbedaan dasar antara zat cair dan gas (keduanya digolongkan sebagai fluida) adalah bahwa gas akan menyebar dan mengisi seluruh wadah yang ditematinya. Definisi yang lebih tepat untuk membedakan zat padat dengan fluida adalah dari karakteristik deformasi bahan tersebut. Zat padat dianggap sebagai bahan yang menunjukkan reaksi deformasi yang terbatas ketika menerima suatu gaya geser (shear). Fluida dapat didefinisikan sebagai suatu zat yang terus menerus berubah bentuk apabila mengalami tegangan geser fluida tidak mampu menahan tegangan geser tanpa berubah bentuk. Kendatipun demikian ada bahan-bahan seperti oli, cat, ter dan larutan polimer yang menunjukkan karakteristik entah zat padat atau fluida tergantung dari tegangan geser yang dialami.

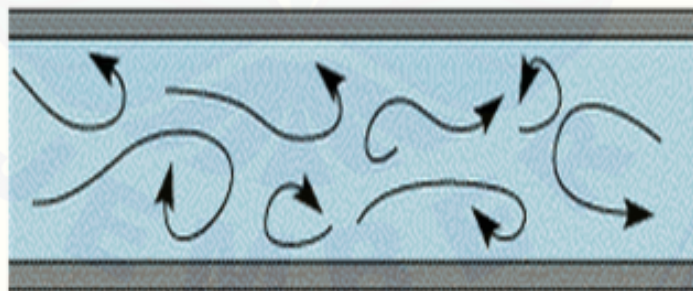
Dalam fluida, banyak hal yang berpengaruh satu sama lain. Jenis zat, kekentalan, kecepatan alir menjadi dasar tema pembicaraan. Berdasarkan karakteristik struktur internal aliran, aliran fluida dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu aliran laminer dan turbulen.

Aliran laminar adalah aliran fluida yang bergerak dengan kondisi lapisan-lapisan (lamina-lamina) membentuk garis-garis alir yang tidak berpotongan satu sama lain. Hal tersebut ditunjukkan oleh percobaan Osborne Reynolds. Pada laju aliran rendah, aliran laminar tergambar sebagai filamen panjang yang mengalir sepanjang aliran. Untuk bentuk aliran laminar dapat dilihat dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Aliran laminar

Aliran turbulen adalah aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling interaksi. Akibat dari hal tersebut garis alir antar partikel fluidanya saling berpotongan. Osborne Reynolds menggambarkan sebagai bentuk yang tidak stabil yang bercampur dalam waktu yang cepat yang selanjutnya memecah dan menjadi tak terlihat. Untuk bentuk aliran turbulen dapat dilihat dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Aliran turbulen

Menurut hasil percobaan Osborne Reynolds, apabila angka Reynolds kurang daripada 2000 maka akan membentuk aliran laminar. Apabila bilangan Reynolds

lebih besar daripada 4000, maka akan membentuk aliran turbulen. Sedangkan bila bilangan Reynold antara 2000-4000 aliran yang dapat dibentuk adalah aliran transisi. Aliran laminer atau turbulen bergantung pada faktor-faktor lain yang mempengaruhi.

2.3 Sistem Pernafasan Pada Manusia

Pengertian pernapasan atau respirasi adalah suatu proses mulai dari pengambilan oksigen, pengeluaran karbohidrat hingga penggunaan energi di dalam tubuh. Manusia dalam bernapas menghirup oksigen dalam udara bebas dan membuang karbondioksida ke lingkungan.

Normalnya manusia butuh kurang lebih 300 liter oksigen perhari. Dalam keadaan tubuh bekerja berat maka oksigen yang diperlukan pun menjadi berlipat-lipat kali dan bisa sampai 10 hingga 15 kali lipat. Ketika oksigen tembus selaput alveolus, hemoglobin akan mengikat oksigen yang banyaknya akan disesuaikan dengan besar kecil tekanan udara.

Alat-alat pernapasan berfungsi memasukkan udara yang mengandung oksigen dan mengeluarkan udara yang mengandung karbon dioksida dan uap air. Tujuan proses pernapasan yaitu untuk memperoleh energi. Pada peristiwa bernapas terjadi pelepasan energi.

Organ-organ dalam sistem pernapasan manusia antara lain Rongga Hidung (Cavum Nasalis), Faring (Tenggorokan), Batang Tenggorokan (Trakea), Pangkal Tenggorokan (Laring), Cabang Batang Tenggorokan (Bronkus), dan Paru-paru (Pulmo).

Udara dari luar akan masuk lewat rongga hidung (cavum nasalis). Rongga hidung berlapis selaput lendir, di dalamnya terdapat kelenjar minyak (kelenjar sebacea) dan kelenjar keringat (kelenjar sudorifera). Selaput lendir berfungsi menangkap benda asing yang masuk lewat saluran pernapasan.

Udara dari rongga hidung masuk ke faring. Faring merupakan percabangan 2 saluran, yaitu saluran pernapasan (nasofarings) pada bagian depan dan saluran pencernaan (orofarings) pada bagian belakang.

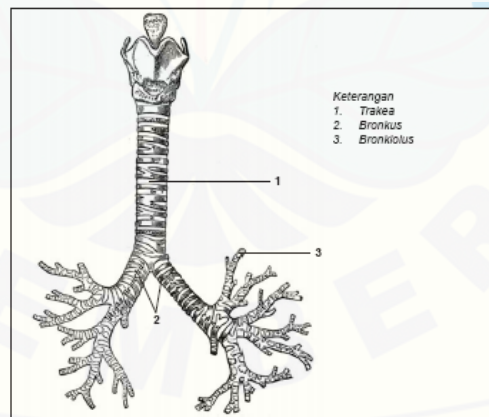
Tenggorokan berupa pipa yang panjangnya 10 cm, terletak sebagian di leher dan sebagian di rongga dada (torak). Dinding tenggorokan tipis dan kaku, dike-

lilingi oleh cincin tulang rawan, dan pada bagian dalam rongga bersilia. Silia-silia ini berfungsi menyaring benda-benda asing yang masuk ke saluran pernapasan.

Laring merupakan suatu saluran yang dikelilingi oleh tulang rawan. Laring berada diantara orofaring dan trakea, didepan lariofaring. Salah satu tulang rawan pada laring disebut epiglotis. Epiglotis terletak di ujung bagian pangkal laring.

Tenggorokan (trakea) bercabang menjadi dua bagian, yaitu bronkus kanan dan bronkus kiri. Struktur lapisan mukosa bronkus sama dengan trakea, hanya tulang rawan bronkus bentuknya tidak teratur dan pada bagian bronkus yang lebih besar cincin tulang rawannya melingkari lumen dengan sempurna. Bronkus bercabang-cabang lagi menjadi bronkiolus.

Paru-paru terletak di dalam rongga dada bagian atas, di bagian samping dibatasi oleh otot dan rusuk dan di bagian bawah dibatasi oleh diafragma yang berotot kuat. Paru-paru tersusun oleh bronkiolus, alveolus, jaringan elastik, dan pembuluh darah. Bronkiolus tidak mempunyai tulang rawan, tetapi rongga bronkus masih bersilia dan dibagian ujungnya mempunyai epitelium berbentuk kubus bersilia. Setiap bronkiolus terminalis bercabang-cabang lagi menjadi bronkiolus respirasi, kemudian menjadi duktus alveolaris. Pada dinding duktus alveolaris mengandung gelembung-gelembung yang disebut alveolus.



Gambar 6.3 Trakea.

Sumber: www.wikipedia.org, 2006.

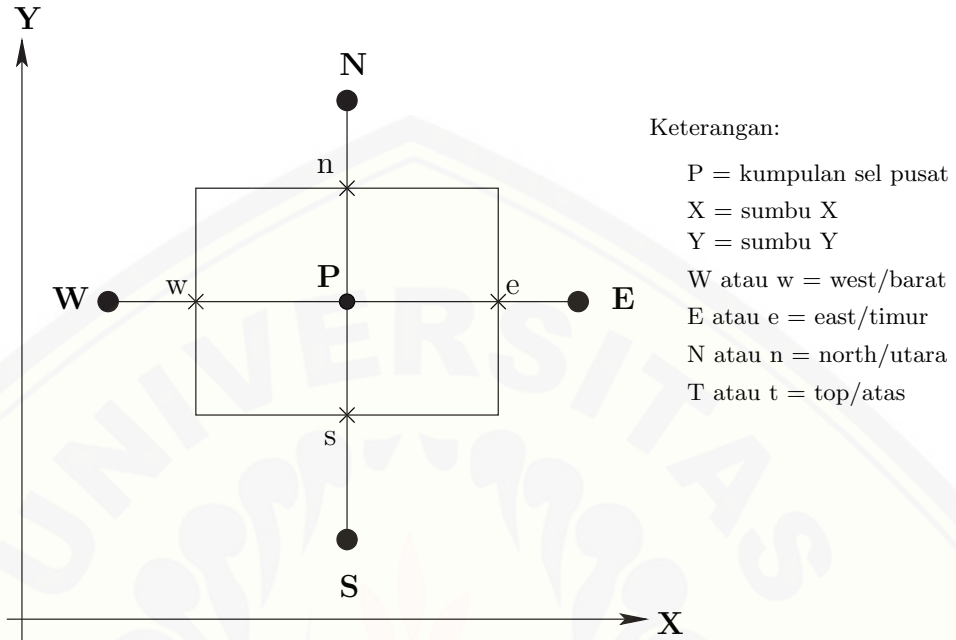
Gambar 2.3 Bagian-bagian paru-paru manusia

2.4 Metode Volume Hingga

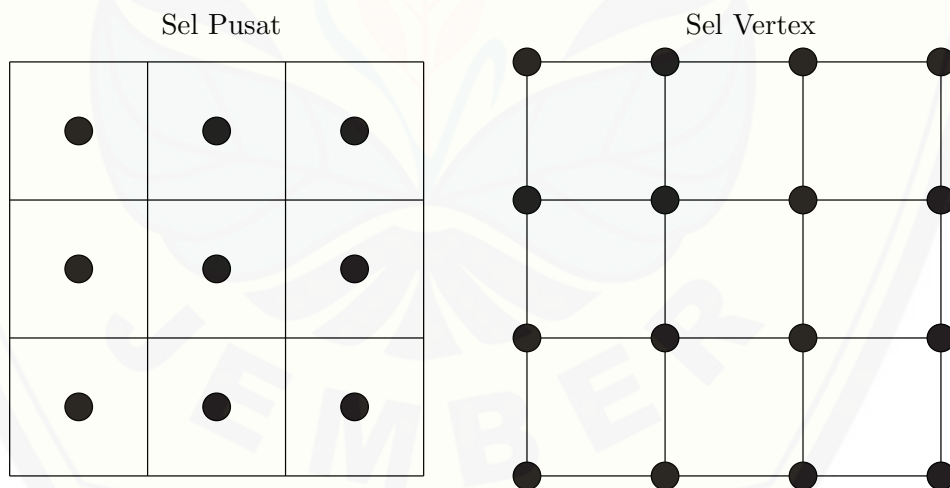
Metode volume hingga adalah suatu metode untuk menyelesaikan suatu persamaan pemodelan matematika dengan suatu titik-titik diskrit yang kontinu, jarak antara titik-titik tersebut teratur membentuk suatu *grid* atau *mesh*. Metode volume hingga sangat baik digunakan untuk menyelesaikan masalah penyebaran suhu, aliran fluida, atau masalah mekanika fluida yang lain, dengan membangun bentuk-bentuk geometri (Versteeg, 1995). Bentuk-bentuk geometri pada metode volume hingga pada umumnya tidak teratur. Metode Volume Hingga merupakan salah satu metode yang dapat digunakan dalam pemodelan matematika, sesuai diterapkan pada masalah aliran fluida dan aerodinamika. (Habibah, 2009). Prosedur dalam Metode Volume Hingga adalah (1) Mendefinisikan bentuk geometri aliran, (2) Domain dari aliran diuraikan dalam mesh atau grid dari volume kontrol yang tidak tumpang tindih yang dapat membentuk persamaan yang dapat dibagikan, (3) Persamaan yang didiskretkan nilainya merupakan pendekatan dari nilai pada masing-masing titik, (4) Persamaan yang didiskretkan diselesaikan secara numerik.

Aliran suatu fluida dapat dibangun dengan persamaan matematika dengan menggunakan rumus-rumus fisika seperti hukum kekekalan massa, hukum kekekalan energi, dan persamaan momentum. Dalam penelitian ini akan dibangun suatu persamaan matematika berdasarkan hukum kekekalan massa, energi dan persamaan momentum.

Penyelesaian dengan menggunakan metode volume hingga didasarkan pada bentuk geometri. Sehingga harus diketahui terlebih dahulu bentuk geometri dari benda yang akan diamati. Kemudian bentuk tersebut dibagi menjadi beberapa bagian atau grid. Masing-masing grid memenuhi persamaan matematika yang telah terbentuk. Persamaan yang terbentuk mewakili bidang pada bentuk geometri, pada metode ini perlu dilakukan pendiskritisasian untuk memperoleh persamaan yang mewakili titik-titik pada bentuk geometri. Teknik diskritisasi yang digunakan adalah teknik Quadratic Upwind Interpolation Convective Kinematics (QUICK).



Gambar 2.4 Volume Kendali 2 Dimensi



Gambar 2.5 Sel Pusat dan Sel Vertex

2.4.1 Persamaan Energi

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

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

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

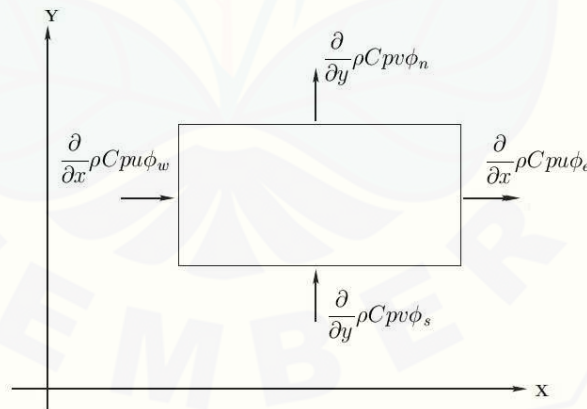
Bentuk umum persamaan energi adalah:

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho C_p \phi_0 + [pure\ rate] = S \tag{2.1}$$

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

$$\frac{\partial \rho C_p \phi_0}{\partial t} + [output - input] = S \tag{2.2}$$

S (*source*) adalah energi sistem pada persamaan energi.



Gambar 2.6 Bagan volume kendali persamaan energi

2.4.2 Persamaan Momentum

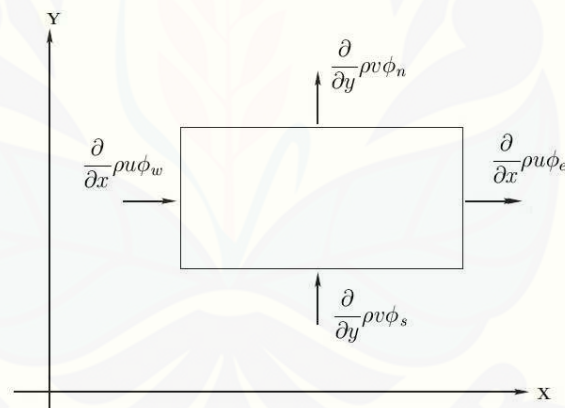
Persamaan momentum merupakan bentuk persamaan diferensial yang menghubungkan dengan gaya-gaya yang bekerja pada volume kendali, salah satunya adalah tekanan (p). Gaya yang lain terdiri dari dua jenis, yaitu gaya beban dan gaya permukaan. Gaya beban disebabkan oleh medan dari luar (gravitasi, magnet,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

Bentuk umum persamaan momentum adalah:

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

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

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



Gambar 2.7 Bagan volume kendali persamaan momentum

Fluks momentum terjadi di keempat sisi seperti pada Gambar 4.2, yaitu dua masuk dan dua keluar.

2.4.3 Kontinuitas Massa

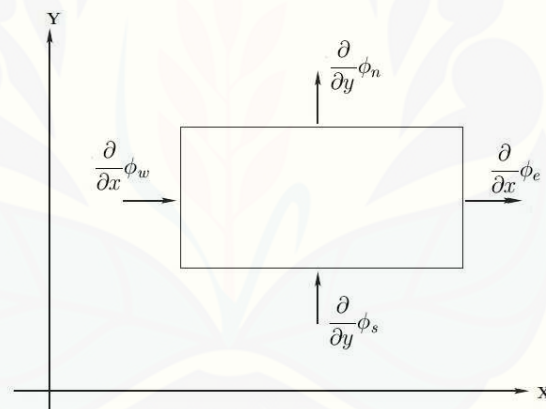
Selain menggunakan persamaan momentum dalam penelitian ini juga menggunakan persamaan massa yang berdasarkan hukum kekekalan massa. Dimana massa dari suatu sistem tertutup akan konstan meskipun terjadi berbagai macam proses di dalam sistem tersebut, dengan kata lain massa dapat berubah bentuk tetapi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan.

Bentuk umum persamaan massa adalah:

$$\frac{\partial}{\partial t}\phi_0 + [pure\ rate] = S \quad (2.5)$$

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

$$\frac{\partial}{\partial t}\phi_0 + [output - input] = 0 \quad (2.6)$$

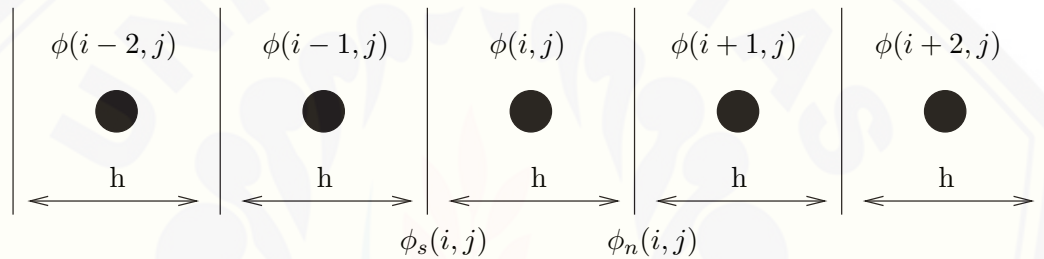


Gambar 2.8 Bagan volume kendali persamaan massa

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

Solusi numerik didapatkan dengan melakukan diskritisasi pada tiap-tiap persamaan. Teknik diskritisasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik

diskritisasi *Quadratic Upwind Interpolation Confective Kinematics* (QUICK). Bentuk geometris dari aliran fluida pada masing-masing domain dibuat dalam bentuk grid. Grid dari domain dapat berupa grid berstruktur atau yang tidak terstruktur, ataupun grid dalam koordinat Kartesius atau grid non Kartesius. Masing-masing grid memiliki kontrol face dan kontrol node. Kontrol face untuk dua dimensi terdiri dari w, e, n, s, sedangkan kontrol node terdiri dari W, E, N, S. Model matematika dua dimensi penyebaran aliran udara di sekitar dan di dalam bangunan bertingkat pada arah horizontal (pada sumbu x) dan arah vertical (pada sumbu y) akan dimodelkan dalam penelitian ini. Diskritisasi dengan menggunakan metode QUICK untuk merubah nilai pada face menjadi nilai pada nude, diilustrasikan pada Gambar 2.9(Saptaningtyas, 2010).



Gambar 2.9 Diskritisasi QUICK
(Tondok, 2009:20)

Menurut Apsley dalam (dalam Tondok, 2009:20), QUICK scheme untuk kecepatan lebih besar dari nol adalah:

$$\phi_n(i, j) = \phi(i, j) + g_1(\phi(i+1, j) - \phi(i, j)) + g_2(\phi(i, j) - \phi(i-1, j)) \quad (2.2)$$

Dengan bobot :

$$g_1 = \frac{[\phi_n(i, j) - \phi(i, j)][\phi_n(i, j) - \phi(i-1, j)]}{[\phi(i+1, j) - \phi(i, j)][\phi(i+1, j) - \phi(i-1, j)]} = \frac{(\frac{1}{2}\Delta x)(\frac{3}{2}\delta x)}{(\delta x)(2\delta x)} = \frac{3}{8} \quad (2.7)$$

dan bobot untuk g_2 yaitu:

$$g_2 = \frac{[\phi_n(i, j) - \phi(i, j)][\phi_n(i+1, j) - \phi(i, j)]}{[\phi(i+1, j) - \phi(i, j)][\phi(i+1, j) - \phi(i-1, j)]} = \frac{(\frac{1}{2}\Delta x)(\frac{1}{2}\delta x)}{(\delta x)(2\delta x)} = \frac{1}{8} \quad (2.8)$$

Dengan mensubstitusikan nilai g_1 dan g_2 , maka diperoleh:

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

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

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

$$\begin{aligned}
 \phi_w(i, j) &= \phi(i, j-1) + g_1[\phi(i, j) - \phi(i, j-1)] + g_2[\phi(i, j-1) - \\
 &\quad \phi(i, j-2)] \\
 &= \phi(i, j-1) + \frac{3}{8}[\phi(i, j) - \phi(i, j-1)] + \frac{1}{8}[\phi(i, j-1) - \\
 &\quad \phi(i, j-2)] \\
 &= \frac{3}{4}\phi(i, j-1) + \frac{3}{8}\phi(i, j) - \frac{1}{8}\phi(i, j-2)
 \end{aligned} \tag{2.12}$$

2.6 Algoritma dan Pemrograman

Algoritma merupakan suatu urutan langkah-langkah yang tersusun secara sistematis dan logis dengan tujuan untuk menyelesaikan suatu masalah. Logis ber-

arti langkah-langkah dalam algoritma harus dapat ditentukan bernilai benar atau salah. Pada umumnya, langkah-langkah pada algoritma dibagi menjadi tiga, yaitu masukan (input), proses, dan keluaran (output). Masukan atau input merupakan perintah-perintah berupa masukan yang akan diproses dalam algoritma. Proses merupakan kegiatan pelaksanaan atau "eksekusi" algoritma yang telah dibuat. Kegiatan ini dapat dilakukan oleh manusia, komputer, robot, dan alat elektronik lainnya. Pihak atau benda yang mengerjakan proses disebut pemroses. Sehingga algoritma tidak selalu identik dengan ilmu komputer. Keluaran (output) adalah hasil yang diperoleh dalam algoritma sesuai dengan masukan dan keinginan pembuat algoritma.

Urutan langkah-langkah pada algoritma secara sistematis dan logis dapat ditulis didalam program komputer. Program komputer dijalankan dengan menggunakan bahasa pemrograman. Sehingga langkah-langkah pada algoritma dapat dijalankan dengan menggunakan komputer.

2.6.1 MATLAB (Matrix Laboratory)

MATLAB (Matrix Laboratory) yaitu sebuah program (software) aplikasi yang digunakan untuk analisis dan komputasi data numerik. MATLAB juga diartikan sebagai suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan, yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks. Tidak hanya komputasi numerik MATLAB juga berfungsi untuk menampilkan data, baik dalam bentuk dua dimensi maupun dalam bentuk tiga dimensi.

Software MATLAB memiliki beberapa menu tampilan yang penting untuk diketahui yaitu Command Window, MATLAB Editor (M-File), Figure, dan Help.

Command window merupakan tampilan yang muncul pada saat pertama kali membuka atau menjalankan software MATLAB. Command window berfungsi sebagai tempat untuk menuliskan perintah-perintah ekspresi MATLAB (angka, operasi matematika, matriks, dll). Selain itu command window juga berfungsi sebagai tempat untuk menampilkan atau menjalankan perintah-perintah yang telah ditulis pada MATLAB editor (M-File).

MATLAB editor hanya disediakan pada MATLAB versi 5 keatas. MATLAB editor berfungsi sebagai editor script (perintah-perintah seperti fungsi, luas,

volume, dll). Untuk menampilkan MATLAB editor yaitu sebagai berikut:

- klik menu File, kemudian pilih New,
- pilih M-File, maka *MATLAB* akan menampilkan *MATLAB* editor.

Menu figure merupakan hasil visualisasi dari script MATLAB dalam bentuk grafik (dua dimensi atau tiga dimensi). Pada menu ini, pengguna dapat mengubah tampilan grafik yang telah dibuat. Sehingga tampilan grafik menjadi lebih menarik.

Menu help berfungsi sebagai petunjuk bagi pengguna dalam mengoperasikan perintah-perintah yang akan dituliskan dalam MATLAB. Misalnya, ingin menuliskan fungsi trigonometri sinus, maka pada command window cukup menuliskan `?? help sin` dan MATLAB akan muncul cara-cara menuliskan fungsi trigonometri sinus. Help juga bisa membantu dalam penggunaan MATLAB bagi pemula tanpa penun- tor, jadi MATLAB dapat dipelajari, dioperasikan, dan dikembangkan sendiri.

MATLAB[®]
The Language of Technical Computing



Gambar 2.10 Gambar matlab

2.6.2 Metode SOR (*Successive Overrelaxation*)

Secara umum, penyelesaian suatu persamaan linier dapat menggunakan dua metode yaitu metode langsung dan metode iteratif (metode tak langsung). Metode langsung seperti metode invers, eliminasi Gauss, dan dekomposisi LU.

Metode iteratif merupakan metode dengan penentuan nilai awal x_0 untuk membangun sebuah urutan aproksimasi terbaik terhadap pemecahan eksak. Termasuk metode iteratif seperti iterasi Jacobi, iterasi Gauss-Seidel, dan iterasi SOR.

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

$$AX = B \quad (2.13)$$

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

$$QX = (Q - A)X + B \quad (2.14)$$

Selanjutnya dapat dituliskan dalam bentuk iterasi ke- k :

$$QX^{(k)} = (Q - A)X^{(k-1)} + B, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.15)$$

Sebuah matriks A dapat dituliskan dalam bentuk $A = L + D + U$, dengan L adalah matriks segitiga bawah, D adalah matriks diagonal, dan U adalah matriks segitiga atas. Pada iterasi Gauss-Seidel dipilih $Q = D + L$, tetapi pada iterasi SOR dipilih $Q = \frac{1}{\omega}D + L$ dengan ω adalah faktor skala. Sehingga Persamaan (2.15) menjadi:

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

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{\omega}DX^{(k)} &= -LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1 \right) D + D + L - A \right) X^{(k-1)} + B \\
 \frac{1}{\omega}DX^{(k)} &= -LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1 \right) D - U \right) X^{(k-1)} + B \\
 \omega D^{-1} \left(\frac{1}{\omega}DX^{(k)} \right) &= \omega D^{-1} \left[-LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1 \right) D - U \right) X^{(k-1)} + B \right] \\
 X^{(k)} &= \omega D^{-1} \left[-LX^{(k)} + \left(\frac{1}{\omega}D - D - U \right) X^{(k-1)} + B \right] \\
 X^{(k)} &= -\omega D^{-1}LX^{(k)} + (1 - \omega - \omega D^{-1}U) X^{(k-1)} + \omega D^{-1}B \\
 X^{(k)} &= (1 - \omega)X^{(k-1)} - \omega D^{-1}LX^{(k)} - \omega D^{-1}UX^{(k-1)} + \omega D^{-1}B \\
 X^{(k)} &= (1 - \omega)X^{(k-1)} - \omega D^{-1} (LX^{(k)} + UX^{(k-1)} - B) \quad (2.16)
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\
 a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\
 a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + \dots + a_{3n}x_n &= b_3 \\
 &\vdots \\
 a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + a_{n3}x_3 + \dots + a_{nn}x_n &= b_n
 \end{aligned} \quad (2.17)$$

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

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

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

- o iterasi ke-1

$$\begin{aligned}
 x_1^1 &= \frac{1}{a_{11}}(b_1 - a_{12}x_2^0 - a_{13}x_3^0 - \dots - a_{1n}x_n^0) \\
 x_2^1 &= \frac{1}{a_{22}}(b_2 - a_{21}x_1^1 - a_{23}x_3^0 - \dots - a_{2n}x_n^0) \\
 x_3^1 &= \frac{1}{a_{33}}(b_3 - a_{31}x_1^1 - a_{32}x_2^1 - \dots - a_{3n}x_n^0) \\
 &\vdots \\
 x_n^1 &= \frac{1}{a_{nn}}(b_n - a_{n1}x_1^1 - a_{n2}x_2^1 - \dots - a_{nn-1}x_{n-1}^1)
 \end{aligned} \tag{2.19}$$

- o iterasi ke-2

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

- o dan seterusnya sampai langkah k .

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

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

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

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

Pada Persamaan (2.16) dan Persamaan (2.22), untuk $\omega = 1$ akan diperoleh metode Gauss-Seidel. Untuk $0 < \omega < 1$, prosesnya dinamakan metode *under-relaxation* 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. Metode-metode tersebut dinamakan metode *Successive Overrelaxation* (SOR) atau **metode relaksasi berurutan** dan digunakan untuk menyelesaikan sistem persamaan linier yang muncul dalam penyelesaian numerik dari persamaan diferensial parsial tertentu.

2.6.3 Galat atau *Error*

Galat atau kesalahan (*error*) adalah selisih antara nilai sejati (sebenarnya) dengan nilai hampirannya. Dalam metode numerik, *error* (*error mutlak*) berarti selisih antara nilai hasil perhitungan analitik (a) dengan nilai hasil perhitungan numerik (\hat{a}). Dalam perhitungan secara numerik selain dibutuhkan *error* yang kecil juga perlu diketahui ketelitian hasil perhitungan yang diperoleh secara numerik dengan nilai sebenarnya. Misalnya, kasus pertama dalam perhitungan eksak diperoleh nilai 1 sedangkan secara numerik diperoleh nilai 0,9. Kasus kedua dalam perhitungan eksak diperoleh nilai 0,5 sedangkan secara numerik diperoleh 0,4. Manakah perhitungan yang paling bagus? Apakah kedua-duanya? Dengan menggunakan *error* relatif dapat diketahui nilai ketelitian suatu hasil secara numerik dengan nilai sebenarnya.

$$\text{error mutlak} = |a - \hat{a}| \quad \text{dan} \quad \text{error relatif} = \left| \frac{a - \hat{a}}{a} \right| \times 100\% \quad (2.23)$$

Pada kasus pertama diperoleh nilai *error* 0,1 dan juga pada kasus kedua diperoleh nilai *error* 0,1. Dengan menggunakan *error* relatif, pada kasus pertama diperoleh ketelitian 10% sedangkan pada kasus kedua diperoleh ketelitian 20%. Sehingga kasus pertama lebih bagus daripada kasus kedua.

Menurut Volkov (dalam Sahid, 2005:3) beberapa sumber galat (*error*) pada suatu hampiran penyelesaian yang diperoleh dengan menggunakan suatu metode komputasi numerik adalah (1) Model matematika untuk suatu fenomena alam, (2) Galat bawaan dari data masukan (parameter masukan), (3) Metode penyelesaian, dan (4) Adanya pembulatan didalam melakukan operasi-operasi jenis lain pada bilangan-bilangan terkait.

Selain sumber-sumber tersebut, kesalahan numerik juga dapat disebabkan oleh kekurangcermatan (manusia), pemakaian alat ukur, dan penggunaan mesin hitung atau kalkulator atau computer. Kekurangcermatan manusia dapat menyebabkan kesalahan di dalam merumuskan model matematika suatu fenomena alam dan hasil pengukuran (kesalahan membaca alat ukur). Pemakaian alat ukur yang tidak akurat juga akan menghasilkan hasil pengukuran (*data*) yang mengandung galat. Keterbatasan mesin hitung atau kalkulator atau komputer dalam menyajikan suatu bilangan akan menghasilkan kesalahan-kesalahan pembulatan atau pemangkasan.

Selain sumber-sumber tersebut, kesalahan numerik juga dapat disebabkan oleh kekurangcermatan (manusia), pemakaian alat ukur, dan penggunaan mesin hitung atau kalkulator atau computer. Kekurangcermatan manusia dapat menyebabkan kesalahan di dalam merumuskan model matematika suatu fenomena alam dan hasil pengukuran (kesalahan membaca alat ukur). Pemakaian alat ukur yang tidak akurat juga akan menghasilkan hasil pengukuran (*data*) yang mengandung galat. Keterbatasan mesin hitung atau kalkulator atau komputer dalam menyajikan suatu bilangan akan menghasilkan kesalahan-kesalahan pembulatan atau pemangkasan.

2.7 Computational Fluid Dynamics (CFD)

Aliran fluida, baik cair maupun gas, adalah suatu zat yang sering ditemukan dalam kehidupan sehari-hari. Misalnya pada fenomena meteorologi (an-

gin, hujan, dan badai), zat-zat berbahaya bagi lingkungan (polusi udara dan pergerakan kontaminan), pengkondisian udara bagi bangunan dan mobil, pembakaran pada mesin, interaksi berbagai objek dengan fluida, aliran kompleks pada penukar panas dan reaktor kimia, dan proses di dalam tubuh manusia (aliran darah, bernafas, dan minum). Untuk kebutuhan penelitian, fenomena-fenomena tersebut dapat dianalisis atau diprediksi dengan cepat dan akurat menggunakan Komputasi Aliran Fluida Dinamik atau Computational Fluid Dynamics (Tuakia, 2008:1).

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika (model matematika). CFD juga dapat diartikan sebagai suatu teknologi komputer yang memungkinkan pengguna untuk mempelajari dinamika dari benda-benda atau zat-zat yang mengalir (Tuakia, 2008:2). CFD menyelesaikan masalah berdasarkan pada persamaan fundamental dari dinamika fluida (Trimulyono dan Sagala, 2011).

Pada dasarnya, persamaan-persamaan pada fluida dibangun dan dianalisis berdasarkan persamaan-persamaan diferensial parsial yang mempresentasikan hukum-hukum konservasi massa, momentum, dan energi (Tuakia, 2008:2). Konsep dasar penggunaan software yang berbasis CFD adalah penyelesaian metode numerik dengan sebuah persamaan fluida yaitu persamaan Navier-Stokes, dengan prinsip ketiga hukum tersebut (Trimulyono dan Sagala, 2011). Persamaan dasar gerak fluida didapatkan dengan memilih prinsip fisika dasar dari hukum-hukum tersebut dan menerapkan prinsip-prinsip fisika di dalam model aliran. Dari penerapan kemudian diuraikan persamaan matematis yang meliputi prinsip-prinsip fisika dasar (Firdaus, 2010).

Sebuah *software* CFD dapat mensimulasikan aliran fluida dengan pemodelan di komputer. Dengan menggunakan software ini pengguna dapat membuat virtual prototype dari sebuah sistem atau alat-alat yang ingin dianalisis dengan menerapkan kondisi nyata dilapangan. Software CFD akan memberikan data-data, gambar-gambar, atau kurva-kurva yang menunjukkan prediksi dari performansi keandalan sistem yang telah didisain (Tuakia, 2008:2).

Simulasi CFD memiliki tiga tahapan utama, yaitu *Preprocessing*, *Solver Manager*, dan *Postprocessing*.

Preprocessing merupakan langkah pertama dalam membangun dan menganalisis sebuah model CFD (Tuakia, 2008:6). Pada *preprocessing* sebuah model dibuat menjadi model yang dapat diterjemahkan oleh software simulasi. Langkah *preprocessing* merupakan langkah awal dimana bahasa pemrograman disain model akan diterjemahkan oleh *Solver Manager*. Model akan dibentuk sedemikian rupa sehingga terdapat beberapa bagian untuk memberikan batasa-batasan aliran fluida yang dijalankan dan membuat model menjadi suatu objek yang akan dialiri fluida. Dalam tahap ini objek yang dibentuk kemudian diberikan kondisi batas dan kondisi dari fluida yang akan mengalir dalam kondisi batas tersebut untuk dapat dianalisa. Kondisi batas (boundary) ini berupa inlet (saluran fluida masuk), outlet (saluran fluida keluar) dan wall (dinding pembatas). Sedangkan fluida pada software CFD biasanya dinamakan sebagai domain (Yusuf et al., 2010).

Pada *software solver* CFD menghitung kondisi-kondisi yang diterapkan pada saat *preprocessing*. Dalam program solver semua parameter yang telah dimasukkan akan diolah pada *software*. Proses perhitungan atau iterasi harus menentukan kriteria konvergensi yang akan dihitung. Konvergensi yang dimaksud adalah kesalahan atau perbedaan antara estimasi awal dan hasil akhir dari iterasi yang dilakukan oleh *Solver Manager* (Yusuf et al., 2010).

Postprocessing merupakan langkah terakhir dalam analisa CFD. Pada langkah ini akan ditampilkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada tahap *Solver Manager*. Hasil perhitungan dapat dilihat berupa data numerik dan data visualisasi aliran fluida pada model (Yusuf et al., 2010). Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa gambar, kurva, dan animasi (Tuakia, 2008:6).

CFD sebenarnya mengganti persamaan-persamaan diferensial parsial dari kontinuitas, momentum, dan energi dengan persamaan-persamaan aljabar. CFD merupakan pendekatan dari persoalan yang asalnya kontinu (memiliki jumlah sel tak terhingga) menjadi model yang diskrit (jumlah sel terhingga). Ada beberapa metode dalam perhitungan atau komputasi aljabar untuk memecahkan

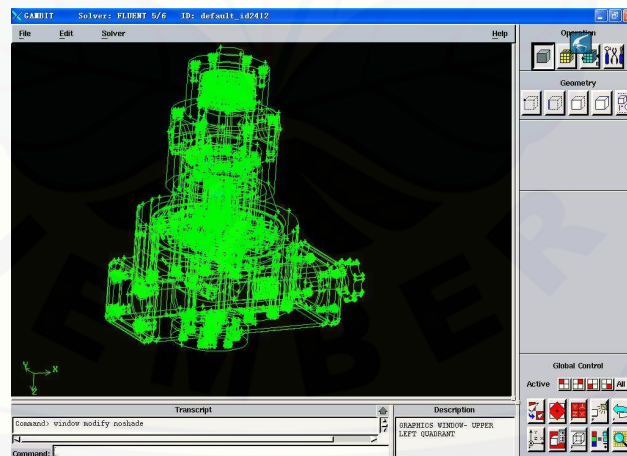
persamaan-persamaan diferensial parsial, yaitu metode beda hingga, metode volume hingga, metode elemen hingga, metode elemen batas dan metode skema resolusi tinggi (Tuakia, 2008 : 7).

2.8 GAMBIT dan FLUENT

2.8.1 GAMBIT (Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit)

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

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



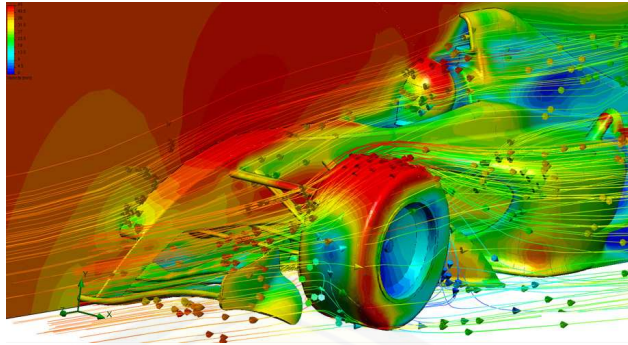
Gambar 2.11 Contoh gambar menggunakan aplikasi Gambit

2.8.2 FLUENT

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

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

Dari langkah-langkah di atas Fluent mampu memberikan gambaran yang mendekati kenyataan. Kita juga bisa memasukkan indikator-indikator yang sesuai dengan data-data yang kita peroleh dari pengamatan. Untuk Fluida kita bisa memasukkan suhu, kecepatan, serta tekanan yang ada pada objek sebenarnya (Tuakia, 2008:138).



Gambar 2.12 Contoh gambar menggunakan aplikasi Fluent

2.9 Bahan Ajar

Bahan Ajar merupakan materi ajar yang dikemas sebagai bahan untuk disajikan dalam proses pembelajaran. Bahan pembelajaran dalam penyajiannya berupa deskripsi yakni berisi tentang fakta-fakta dan prinsip-prinsip, norma yakni berkaitan dengan aturan, nilai dan sikap, serta seperangkat tindakan/keterampilan motorik. Dengan demikian, bahan pembelajaran pada dasarnya berisi tentang pengetahuan, nilai, sikap, tindakan dan keterampilan yang berisi pesan, informasi, dan ilustrasi berupa fakta, konsep, prinsip, dan proses yang terkait dengan pokok bahasan tertentu yang diarahkan untuk mencapai tujuan pembelajaran.

Dilihat dari aspek fungsi, bahan pembelajaran dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu sebagai sumber belajar yang dimanfaatkan secara langsung dan sebagai sumber belajar yang dimanfaatkan secara tidak langsung. Sebagai sumber belajar yang dimanfaatkan langsung, bahan pembelajaran merupakan bahan ajar utama yang menjadi rujukan wajib dalam pembelajaran. Contohnya adalah buku teks, modul, handout, dan bahan-bahan panduan utama lainnya. Bahan pembelajaran dikembangkan mengacu pada kurikulum yang berlaku, khususnya yang terkait dengan tujuan dan materi kurikulum seperti kompetensi, standar materi dan indikator pencapaian.

Sebagai sumber belajar yang dimanfaatkan secara tidak langsung, bahan pembelajaran merupakan bahan penunjang yang berfungsi sebagai pelengkap. Contohnya adalah buku bacaan, majalah, program video, leaflet, poster, dan

komik pengajaran. Bahan pembelajaran ini pada umumnya disusun di luar lingkup materi kurikulum, tetapi memiliki keterkaitan yang erat dengan tujuan utamanya yaitu memberikan pendalaman dan pengayaan bagi siswa.

Jenis bahan ajar dibedakan atas beberapa kriteria pengelompokan. Menurut Koesnandar (2008), jenis bahan ajar berdasarkan subjeknya terdiri dari dua jenis antara lain: (a) bahan ajar yang sengaja dirancang untuk belajar, seperti buku, handouts, LKS dan modul; (b) bahan ajar yang tidak dirancang namun dapat dimanfaatkan untuk belajar, misalnya kliping, koran, film, iklan atau berita. Koesnandar juga menyatakan bahwa jika ditinjau dari fungsinya, maka bahan ajar yang dirancang terdiri atas tiga kelompok yaitu bahan presentasi, bahan referensi, dan bahan belajar mandiri.

Bahan pembelajaran dalam proses pembelajaran dengan demikian menempati posisi penting dalam proses pembelajaran, hal tersebut karena bahan ajar merupakan materi yang akan disampaikan/disajikan. Tanpa bahan ajar mustahil pembelajaran akan terwujud. Tepat tidaknya, sesuai tidaknya bahan ajar dengan tujuan dan kompetensi yang diharapkan akan menentukan tercapai tidaknya tidaknya tujuan kompetensi pembelajaran yang diharapkan.



Gambar 2.13 Contoh bahan ajar

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Berdasarkan jenisnya, penelitian ini merupakan jenis penelitian studi kasus (Yin, 2003). Dengan studi kasus yaitu membandingkan variabel-variabel yang berpengaruh pada sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia berdasarkan tingkat kelembaban udara dalam pemodelan matematika menggunakan metode volume hingga.

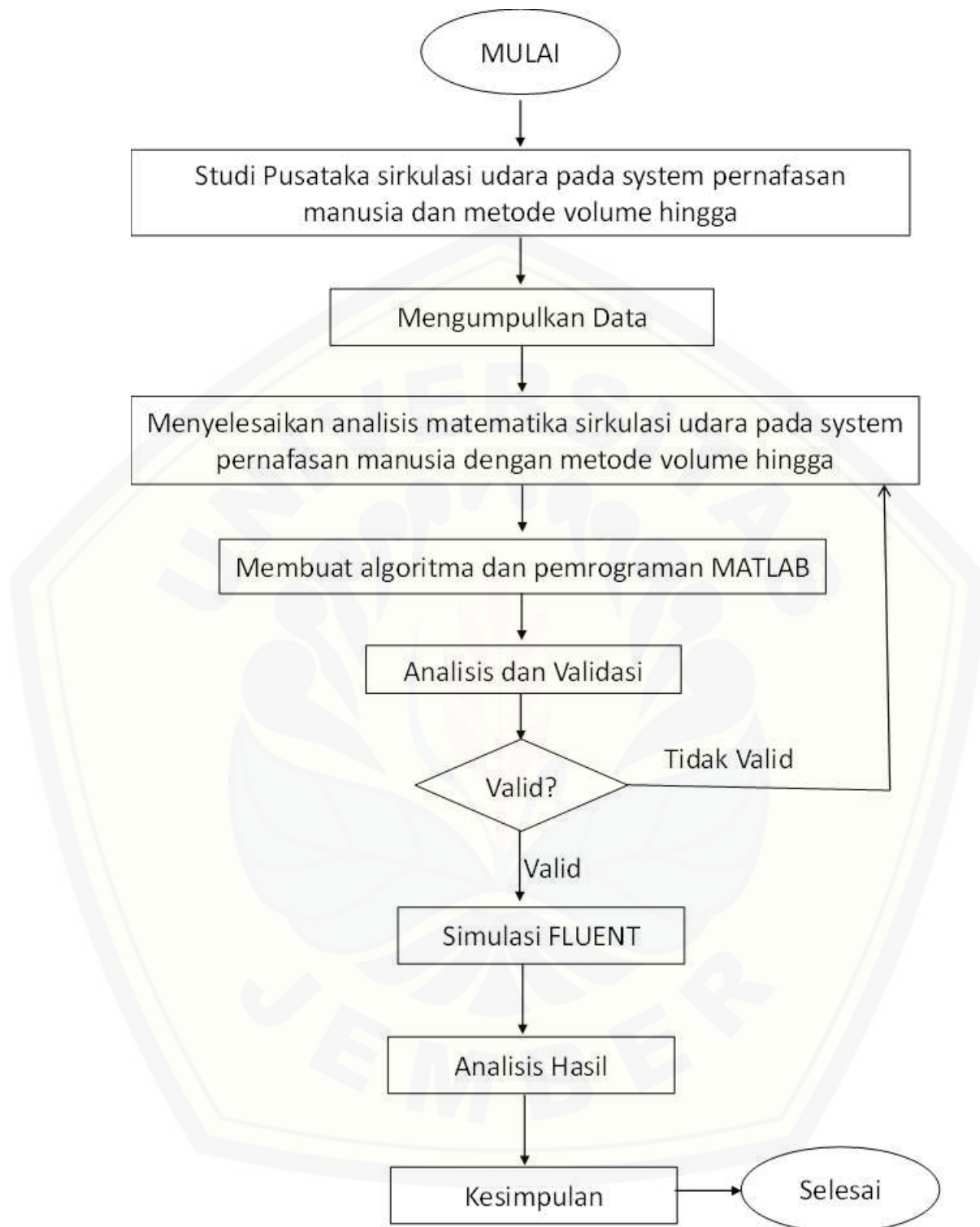
3.2 Prosedur Penelitian

Di dalam penelitian dibutuhkan langkah-langkah (prosedur penelitian) yang merupakan suatu tahapan yang dilakukan sampai diperoleh data-data untuk dianalisis hingga mencapai suatu kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian. Dalam prosedur penelitian ada rancangan penelitian dan teknik penelitian. Rancangan penelitian merupakan rencana yang menggambarkan atau menjelaskan apa yang hendak diteliti dan bagaimana penelitian dilaksanakan (Sudjana, 1989: 469).

Teknik penelitian merupakan tahapan yang dilakukan sampai diperoleh data-data untuk dianalisis hingga dicapai suatu kesimpulan sesuai dengan tahapan dalam menyelesaikan pemodelan matematika secara numerik. Secara umum langkah-langkah penelitian dapat disajikan dalam bagan alur seperti pada gambar 3.1.

Adapun uraian penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Melakukan studi pustaka tentang sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia.
2. Mengumpulkan data tentang pernafasan manusia.



Gambar 3.1 Bagan Penelitian

3. Membuat model matematika dari persamaan momentum, persamaan massa dan persamaan energi.
4. Menyelesaikan model matematika menggunakan metode volume hingga.
5. Membuat algoritma dari model matematika.
6. Menganalisis algoritma dan keadaan sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia.
7. Simulasi menggunakan *FLUENT*.
8. Menganalisis hasil dari penyimulasian dengan *FLUENT*.
9. Memberikan kesimpulan dari hasil.

3.3 Tempat Penelitian

Tempat untuk penyelesaian secara numerik dan pemodelan CFD dilakukan di laboratorium pendidikan matematika gedung III FKIP Universitas Jember yang telah tersedia sarana dan prasarana yang mendukung penelitian ini dengan adanya komputer yang dilengkapi dengan program MATLAB untuk penyelesaian numerik dan Fluent untuk simulasi pemodelan matematika.

3.4 Definisi Operasional

Model matematika adalah suatu persamaan matematika yang dibentuk untuk menggambarkan permasalahan yang ada pada keadaan sesungguhnya. Pemodelan matematika adalah penurunan suatu kejadian atau fenomena ke dalam sekumpulan fungsi-fungsi yang menyatakan hubungan antara beberapa variabel-variabel yang mempengaruhi suatu kejadian ke dalam peubah-peubah yang berbeda.

Metode volume hingga adalah suatu metode untuk menyelesaikan suatu persamaan pemodelan matematika dengan suatu titik-titik diskrit yang kontinu, jarak antara titik-titik tersebut teratur membentuk suatu grid atau mesh.

MATLAB (Matrix Laboratory) yaitu sebuah program (software) aplikasi yang digunakan untuk analisis dan komputasi data numerik. Bahasa pemrograman

man yang digunakan merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi berbasis pada matriks.

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

3.5 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data adalah prosedur yang sistematis dan standar untuk memperoleh data yang diperlukan. Metode pengumpulan data yang tepat merupakan salah satu syarat kesempurnaan penelitian. Data penelitian dikumpulkan sesuai dengan rancangan penelitian yang telah ditentukan. Data yang dikumpulkan merupakan pernyataan fakta mengenai objek yang diteliti. Dalam penelitian ini, metode pengumpulan data penelitian yang digunakan yaitu:

3.5.1 Metode Observasi

Metode observasi digunakan untuk mencari data secara langsung terhadap tingkat kelembaban udara. Observasi dilaksanakan di laboratorium pendidikan matematika gedung III FKIP Universitas Jember. Observasi dilakukan dengan mencari data-data tentang sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia.

3.5.2 Metode Dokumentasi

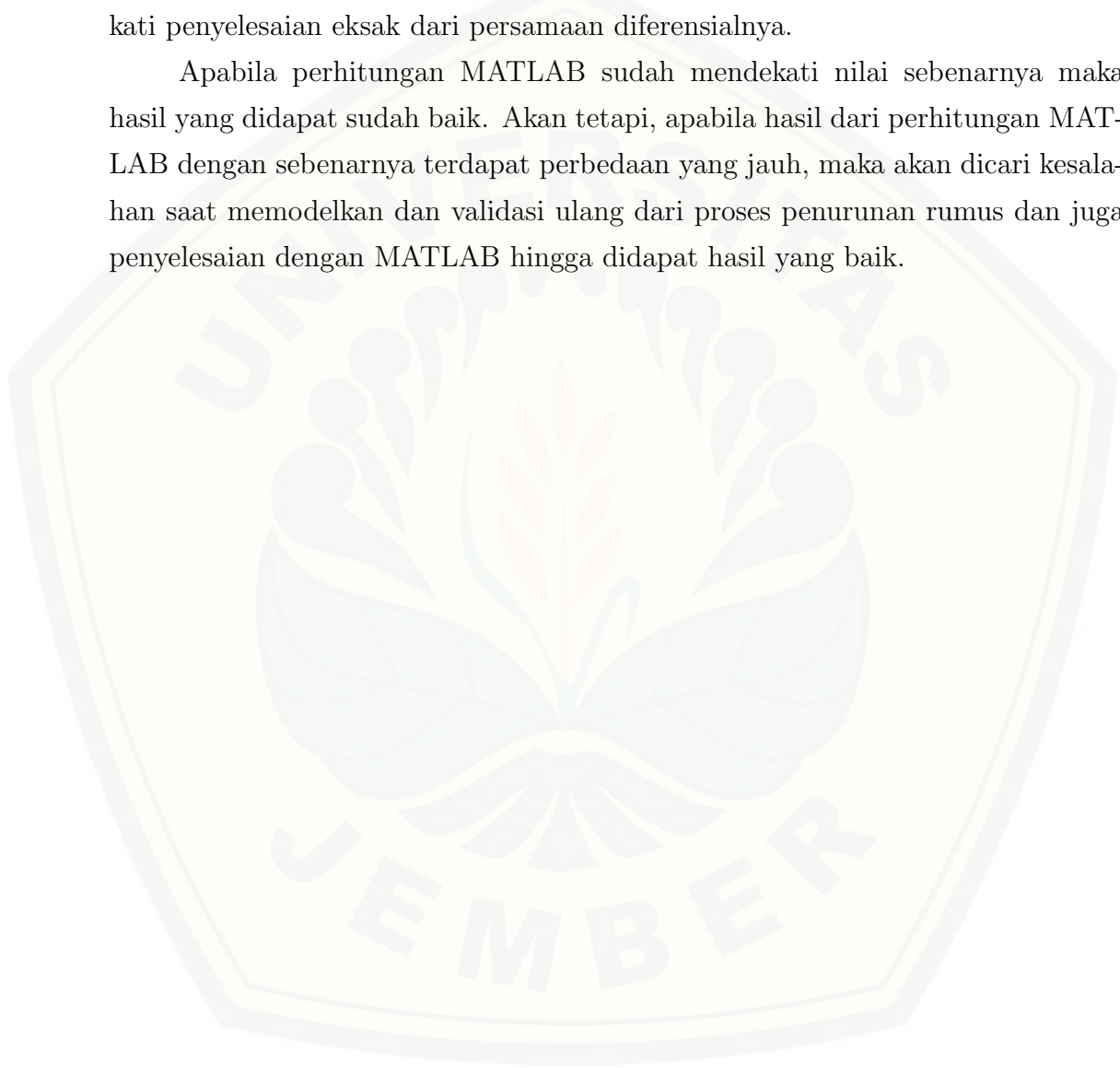
Dengan menggunakan metode dokumentasi, data-data yang diperlukan dalam pemodelan matematika dan simulasi dengan Fluent dicatat. Data-data yang dibutuhkan adalah mengenai tingkat kelembaban udara dan kecepatan aliran udara pada sistem pernafasan manusia.

3.6 Data dan Analisis Data

Analisis data merupakan suatu langkah yang sangat menentukan dalam mengolah data sehingga dapat menghasilkan suatu kesimpulan yang akurat. Analisis data dalam penelitian ini menggambarkan tentang ketercapaian dari perhitungan indikator-indikator yang telah diukur dan diamati.

Setelah mencari model sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia berdasarkan tingkat kelembaban udara, kemudian diselesaikan dengan metode volume hingga, kemudian mendiskritisasi dengan teknik QUICK. Sehingga didapatkan matriks yang menyatakan persamaan dari setiap kontrol volume kendali, persamaan ini akan diselesaikan secara numerik dengan menggunakan MATLAB sehingga didapatkan penyelesaian numerik yang konvergen. Penyelesaian ini mendekati penyelesaian eksak dari persamaan diferensialnya.

Apabila perhitungan MATLAB sudah mendekati nilai sebenarnya maka hasil yang didapat sudah baik. Akan tetapi, apabila hasil dari perhitungan MATLAB dengan sebenarnya terdapat perbedaan yang jauh, maka akan dicari kesalahan saat memodelkan dan validasi ulang dari proses penurunan rumus dan juga penyelesaian dengan MATLAB hingga didapat hasil yang baik.



BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan:

1. Model matematika sirkulasi udara pada sistem pernafasn manusia adalah persamaan yang diselesaikan dengan metode volume hingga, dimana persamaan tersebut merupakan persamaan yang dinyatakan dalam persamaan momentum, persamaan massa dan persamaan energi yang bekerja pada sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia. Berikut ini adalah persamaan-persamaannya.

$$\frac{\partial \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial \phi_e}{\partial x} - \frac{\partial \phi_w}{\partial x} + \frac{\partial \phi_n}{\partial y} - \frac{\partial \phi_s}{\partial y} = 0 \quad (5.1)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial \rho_u \phi_e}{\partial x} - \frac{\partial \rho_u \phi_w}{\partial x} + \frac{\partial \rho_v \phi_n}{\partial y} - \frac{\partial \rho_v \phi_s}{\partial y} = \\ & -\frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y} + f_x + f_y + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (5.2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial \rho C_p u \phi_e}{\partial x} - \frac{\partial \rho C_p u \phi_w}{\partial x} + \frac{\partial \rho C_p v \phi_n}{\partial y} - \frac{\partial \rho C_p v \phi_s}{\partial y} = \\ & \left(\frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \right) h + \left(\frac{\partial^2 \phi_0}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial y^2} \right) \left(K g + \frac{\rho C_p \mu T}{Pr} \right) \end{aligned} \quad (5.3)$$

2. Pada proses pernafasan manusia kecepatan aliran udara cenderung mengalami penurunan pada bagian yang semakin dalam dari bagian-bagian sistem pernafasan manusia. Simulasi pertama dengan input kecepatan awal 0,1 m/s, 0,2 m/s dan 0,3 m/s didapat hasil kecepatan aliran yang turun

sampai pada kecepatan 0,12 m/s sampai 0,19 m/s hal ini juga membuktikan bahwa tubuh manusia memiliki batas kemampuan dalam menerima perlakuan salah satunya adalah terhadap kecepatan aliran udara pada sistem pernafasan manusia.

3. Pada simulasi dengan input bilangan Prandtl 0,8 , 0,9 dan 1 didapat hasil kecepatan aliran yang turun. Pada simulasi ini penurunan pada bilangan Prandtl 0,8 dan 0,9 terjadi sampai angka negatif hal ini tidak benar karena tidak ada kecepatan yang negatif. Pada bilangan Prandtl 1 kecepatan mengalami penurunan dengan mencapai angka yang sama dengan pada simulasi kecepatan awal. Hal ini membuktikan bahwa bilangan Prandtl yang dapat digunakan pada simulasi ini adalah 1.
4. Persamaan sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia adalah model yang akurat dalam menyelesaikan kasus sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia karena persamaan ini *error* kurang dari 1%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisa model matematika sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia:

1. pemodelan sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia menggunakan metode volume hingga ini bisa dikembangkan dengan melakukan penelitian dengan menggunakan faktor lain yang berpengaruh pada proses pernafasan manusia;
2. pada simulasi sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia ini menggunakan MATLAB dan FLUENT sebaiknya menggunakan data-data yang terbaru dan sesuai dengan keadaan sebenarnya agar didapatkan hasil penyebaran aliran fluida yang mendekati keadaan nyata.

DAFTAR RUJUKAN

Buku

- Arhani, M. dan Desiani, A. 2004. *Pemrograman Matlab*. Yogyakarta: Andi.
- Arikunto, S. 2006. *Prosedur Penelitian*. Jakarta: PT. Asdi Mahasatya.
- Away, G. A. 2010. *The Shortcut of MATLAB Programming*. Bandung: Informatika.
- Prastowo, Andi. 2012. *Panduan Kreatif Membuat Bahan Ajar Inovatif*. Yogyakarta: Diva Press.
- Sahid. 2005. *Pengantar Komputasi Numerik dengan MATLAB*. Yogyakarta: ANDI.
- Saptaningtyas, F. Y. 2010. "Penerapan Estimasi Kalman Filter Untuk Mengetahui Pencemaran Air Sungai Di Kali Gajah Wong." Tidak Diterbitkan. Laporan Penelitian Dosen Junior. Yogyakarta: FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Todd, D. K. and Mays, L. W. 2005. *Groundwater Hydrology*. Thrid edition. USA: John Wiley and Sons, Inc.
- Tim Penyusun. 2011. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*. Edisi Ketiga. Jember: Jember University Press.
- Tondok, D. 2009. *Analisis Perambatan Retak Pada Permukaan Baja NiCr Akibat Pendinginan Mendadak (Quenching)*. Surabaya: ITS.
- Tuakia, F. 2008. *Dasar-Dasar CFD Menggunakan FLUENT*. Bandung: Informatika.
- Veersteeg, H. K. 1995. *Computational Fluid Dynamic : The Finite Volume*

Method. New York: Longman Scientific and Technical.

Wahid, F. 2003. *Dasar-Dasar Algoritma Dan Pemrograman*. Yogyakarta: ANDI.

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

Yustica, A. 2010. "Efektifitas Metode Runge Kutta Order Lima Untuk Menyelesaikan Model Penyebaran Virus Avian Influenza (Flu Burung)". Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: FKIP Universitas Jember .

Yusuf, D. F. 2010. "Analisa Perbandingan Penggunaan Flens JIS 10 K Dengan PN 16 Pada Sistem Pemanas Muatan Yang Terdapat Di Kapal Tanker 6300 DWT Menggunakan Metode Finite Element." Tidak Diterbitkan. Skripsi. Surabaya: Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh November.

Jurnal

Alexopoulos, Aleck. 2010. *Particle Transfer and Deposition Using an Integrated CFD Model of the Respiratory System*. Greece: European Symposium on Computer Aided Process Engineering.

Zhang, Jun. 2013. *Characteristic size research of human nasal cavity and the respiratory airflow CFD analysis*. China: Journal of Biosciences and Medicines.

Internet

Fauzan, A. 2007. *FLUENT*. <http://fauzanahmad.wordpress.com/cfd>. [23 Juni 2014].

Parlaungan. 2008. *Pemodelan Matematika Untuk Peningkatan Bermatematika Siswa Sekolah Menengah Atas (SMA)*. <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/6060/1/08E00228.pdf>. [25 juni 2014].

Nabil, M. 2012. *Definisi Fluida dan Jenis-Jenis Fluida*. <http://muhnabil.wordpress.com>

/2012/06/26/definisi-fluida-dan-jenis-jenis-aliran-fluida/. [22 Mei 2014].

Syahrizal, E. 2008. *Jenis-Jenis Penelitian*. <http://malayresearchfoundation.blogspot.com/2008/08/jenis-jenis-penelitian.html>. [23 Juni 2014].



LAMPIRAN A. FORMAT *PROGRAMMING* MATLABA.1 Format *Programming* Simulasi Sirkulasi Udara dengan Kecepatan Awal Berbeda Menggunakan Metode Langsung

```

disp('=====+++++=====');
disp('  SIMULASI SIRKULASI UDARA PADA SISTEM PERNAFASAN MANUSIA  ');
disp('                MENGGUNAKAN METODE BIASA                ');
disp('                Oleh:                ');
disp('                ANDHI SEPTIAN HADI PUTRA (100210101062)        ');
disp('=====+++++=====');

% TAHAP INPUT
m=input('Masukkan Banyaknya Diskritisasi sumbu X = ');
m=input('Masukkan Banyaknya Diskritisasi sumbu Y = ');
u1=input('Masukkan kecepatan awal terkecil = ');
u2=input('Masukkan kecepatan awal terbesar = ');

% TAHAP INISIALISASI
du=(u2-u1)/2;           %interval kecepatan awal
mu=0.00017;           %kekentalan udara
rho=1;                %massa jenis udara
P=-0.05;              %tekanan udara
fx=0.01;
fy=0.01;
v=0.2;                %kecepatan pada arah sumbu y
deltx=1/m;
delty=1/n;
Pall_plot=[];
for u=u1:du:u2;
P_all=[];

```

```

% TAHAP PENDEFINISIAN MATRIKS
A=((3/8)*(rho*u-rho)*deltx)+((3*8)*(rho*v-rho)*deltx);
B=(3/8)*(rho*u-rho)*deltx;
C=(-7/8)*(rho*u-rho)*deltx;
D=(1/8)*(rho*u-rho)*deltx;
E=(3/8)*(rho*v-rho)*deltx;
F=(-7/8)*(rho*v-rho)*deltx;
G=(1/8)*(rho*v-rho)*deltx;
H=-P*(deltx+deltx)+(fx+fy)*deltx*deltx+...
    mu*((u*deltx/deltx)+(u*deltx/deltx))+...
    mu*((v*deltx/deltx)+(v*deltx/deltx));

%TAHAP PEMBANGUNAN MATRIKS
K=zeros(m*n:m*n);
K(1:m*n+1:(m*n)*(m*n))=A;
K(m*n+1:m*n+1:(m*n)*(m*n))=B;
K(m*(m*n)+(m):m*(m*n)+(m):(m*n)*(m*n))=0;
K(2:m*n+1:(m*n)*(m*n-1))=C;
K((m-1)*(m*n)+(m+1):m*(m*n)+(m):(m*n)*(m*n-1))=0;
K(3:m*n+1:(m*n)*(m*n-2))=D;
K((m-2)*(m*n)+(m+1):m*(m*n)+(m):(m*n)*(m*n-2))=0;
K((m-1)*(m*n)+(m+2):m*(m*n)+(m):(m*n)*(m*n-2))=0;
K(m*m*n+1:m*n+1:(m*n)*(m*n))=E; K(m+1:m*n+1:(m*n)*(m*n-m))=F;
K(2*m+1:m*n+1:(m*n)*(m*n-2*m))=G;
K

%Pengerjaan Matriks
L=zeros((m*n),1);
L(1:(m*n))=H;
X=inv(K)*L;
P_all=[P_all X];

```

```
Pall_plot=[Pall_plot P_all(:,end)];  
end  
  
%Plot Grafik  
plot(1:m*n,Pall_plot(:,:),1:m*n,Pall_plot(:,:),'o','MarkerEdgeColor',  
      'k','MarkerFaceColor','r');  
xlabel('PANJANG DOMAIN');  
ylabel('KECEPATAN ALIRAN');  
  
title('PROGRAM SIMULASI SIRKULASI UDARA PADA SISTEM PERNAFASAN  
MANUSIA');  
legend(strcat('kecepatan awal aliran udara =  
,num2str((u1:du:u2)'),' m/s'));  
grid on;  
hold on;  
fprintf('%8.6f\n',X')
```

A.2 Format *Programming* Simulasi Sirkulasi Udara dengan Bilangan Prandtl Berbeda Menggunakan Metode Langsung

```

disp('=====+++++=====');
disp('  SIMULASI SIRKULASI UDARA PADA SISTEM PERNAFASAN MANUSIA  ');
disp('                MENGGUNAKAN METODE BIASA                ');
disp('                Oleh:                ');
disp('                ANDHI SEPTIAN HADI PUTRA (100210101062)        ');
disp('=====+++++=====');

% TAHAP INPUT
m=input('Masukkan Banyaknya Diskritisasi sumbu X = ');
m=input('Masukkan Banyaknya Diskritisasi sumbu Y = ');
u1=input('Masukkan Bilangan Prandtl terkecil = ');
u2=input('Masukkan Bilangan Prandtl terbesar = ');

%TAHAP INISIALISASI
du=(u2-u1)/2;           %interval kecepatan awal
a=0.0005;
rho=1000;               %massa jenis udara
k=1.48;
P=-0.5;                %tekanan
fx=0.1;
fy=0.1;
v=0.2;
deltx=1/m;             %partisi domain x
delty=1/n;             %partisi domain y
Kg=0.00023;           %konditifitas gas
T=300;                %suhu
h=0.12;               %tinggi (panjang domain trakea)
Cp=0.01;              %kalor jenis
Pall_plot=[];

```

```

for u=u1:du:u2;
P_all=[];

% TAHAP PENDEFINISIAN MATRIKS
A=((3/8)*(rho*Cp*u-rho*u)*delty)+((3/8)*(rho*Cp*v-rho*v)*deltx);
B=(3/8)*(rho*Cp*u-rho*u)*delty;
C=(-7/8)*(rho*Cp*u-rho*u)*delty;
D=(-1/8)*(rho*Cp*u-rho*u)*delty;
E=(-3/8)*(rho*Cp*v-rho*v)*deltx;
F=(7/8)*(rho*Cp*v-rho*v)*deltx;
G=(-1/8)*(rho*Cp*v-rho*v)*deltx;
H=((deltx+delty)*h)+(((a*delty)/deltx)+(2*a)+(a*deltx/delty))*...
    (Kg+(rho*Cp*T/Pr))+P*(deltx+delty)-(fx+fy)*deltx*delty-k*...
    ((u*delty)/deltx+(u*deltx)/delty)-k*((v*delty)/deltx+(v*deltx)/delty);

%TAHAP PEMBANGUNAN MATRIKS
K=zeros(m*n:m*n);
K(1:m*n+1:(m*n)*(m*n))=A;
K(m*n+1:m*n+1:(m*n)*(m*n))=B;
K(m*(m*n)+(m):m*(m*n)+(m):(m*n)*(m*n))=0;
K(2:m*n+1:(m*n)*(m*n-1))=C;
K((m-1)*(m*n)+(m+1):m*(m*n)+(m):(m*n)*(m*n-1))=0;
K(3:m*n+1:(m*n)*(m*n-2))=D;
K((m-2)*(m*n)+(m+1):m*(m*n)+(m):(m*n)*(m*n-2))=0;
K((m-1)*(m*n)+(m+2):m*(m*n)+(m):(m*n)*(m*n-2))=0;
K(m*m*n+1:m*n+1:(m*n)*(m*n))=E; K(m+1:m*n+1:(m*n)*(m*n-m))=F;
K(2*m+1:m*n+1:(m*n)*(m*n-2*m))=G;
K

%PENGERJAAN MATRIKS
L=zeros((m*n),1);

```

```
L(1:(m*n))=H;
X=inv(K)*L;
P_all=[P_all X];
Pall_plot=[Pall_plot P_all(:,end)];
end

%Plot Grafik
plot(1:m*n,Pall_plot(:,:),1:m*n,Pall_plot(:,:),'o','MarkerEdgeColor',
      'k','MarkerFaceColor','r');
xlabel('PANJANG DOMAIN');
ylabel('KECEPATAN ALIRAN');
title('PROGRAM SIMULASI SIRKULASI UDARA PADA SISTEM PERNAFASAN
MANUSIA');

legend(strcat('bilangan Prandtl = ',num2str((u1:du:u2)')));
grid on;
hold on;
```


A.3 Format *Programming* Simulasi Sirkulasi Udara dengan Kecepatan Awal Berbeda Menggunakan Metode Iteratif SOR (*Successive Over-relaxation*)

```

clear all;
clc;

disp('=====+++++=====');
disp('  SIMULASI SIRKULASI UDARA PADA SISTEM PERNAFASAN MANUSIA  ');
disp('                MENGGUNAKAN METODE BIASA                ');
disp('                Oleh:                ');
disp('                ANDHI SEPTIAN HADI PUTRA (100210101062)        ');
disp('=====+++++=====');

% TAHAP INPUT
m=input('Masukkan Banyaknya Diskritisasi sumbu X = ');
n=input('Masukkan Banyaknya Diskritisasi sumbu Y = ');
u1=input('Masukkan kecepatan awal terkecil = ');
u2=input('Masukkan kecepatan awal terbesar = ');

% TAHAP INISIALISASI
du=(u2-u1)/2;           %interval kecepatan awal
mu=0.00017;            %kekentalan udara
rho=1;                 %massa jenis udara
P=-0.05;               %tekanan udara
fx=0.01;
fy=0.01;
v=0.2;                 %kecepatan pada arah sumbu y
deltx=1/m; delty=1/n; Pall_plot=[]; for u=u1:du:u2; P_all=[];

% TAHAP PENDEFINISIAN MATRIKS

```

```

A=((3/8)*(rho*u-rho)*delty)+((3*8)*(rho*v-rho)*deltx);
B=(3/8)*(rho*u-rho)*delty;
C=(-7/8)*(rho*u-rho)*delty;
D=(1/8)*(rho*u-rho)*delty;
E=(3/8)*(rho*v-rho)*deltx;
F=(-7/8)*(rho*v-rho)*deltx;
G=(1/8)*(rho*v-rho)*deltx;
H=-P*(deltx+delty)+(fx+fy)*deltx*delty+...
    mu*((u*deltx/delty)+(u*delty/deltx))+...
    mu*((v*deltx/delty)+(v*delty/deltx));

%TAHAP PEMBANGUNAN MATRIKS
K=zeros(m*n:m*n);
K(1:m*n+1:(m*n)*(m*n))=A;
K(m*n+1:m*n+1:(m*n)*(m*n))=B;
K(m*(m*n)+(m):m*(m*n)+(m):(m*n)*(m*n))=0;
K(2:m*n+1:(m*n)*(m*n-1))=C;
K((m-1)*(m*n)+(m+1):m*(m*n)+(m):(m*n)*(m*n-1))=0;
K(3:m*n+1:(m*n)*(m*n-2))=D;
K((m-2)*(m*n)+(m+1):m*(m*n)+(m):(m*n)*(m*n-2))=0;
K((m-1)*(m*n)+(m+2):m*(m*n)+(m):(m*n)*(m*n-2))=0;
K(m*m*n+1:m*n+1:(m*n)*(m*n))=E; K(m+1:m*n+1:(m*n)*(m*n-m))=F;
K(2*m+1:m*n+1:(m*n)*(m*n-2*m))=G;
K

%Pengerjaan Matriks
L(1:(m*n),1)=H;
    z=m*n;
    for j=1:z
        x(j,1)=1;
    end

```

```

[z,z]=size(K); C=-K;
for i=1:z
    C(i,i)=0;
end
for i=1:z
    C(i,1:z)=C(i,1:z)/K(i,i);
end
for i=1:z
    r(i,1)=L(i)/K(i,i);
end
P=x(j,1)';
i=1;
disp(' i      x1      x2      x3      ....');
while (i<=max_it)
    xold=x;
    for j=1:z
        x(j)=(1-w)*xold(j)+w*(C(j,:)*x+r(j));
    end
    if norm(xold-x)<=tol %norm(xold2-x)<=tol norm(xold3-x)<=tol
        P_all=[P_all x];
        Pall_plot=[Pall_plot P_all(:,end)];
        break
    end
    disp([i      x'])
    i=i+1
    P=[P,x'];
end
disp('SOR method converged');
end
plot(1:m*n,Pall_plot(:,:),1:m*n,Pall_plot(:,:),'ro','MarkerEdgeColor',
    'k','MarkerFaceColor','r');

```

```
grid on;  
hold on;  
xlabel('panjang domain')  
  
ylabel('kecepatan aliran udara')  
title('program simulasi sirkulasi udara pada sistem pernafasan  
manusia')  
legend(strcat('kecepatan=',num2str((u1:du:u2)'),'m/s'));  
grid on; hold on;  
disp('SOR method converged');  
fprintf('%8.6f\n',P')
```



A.4 Format *Programming* Simulasi Sirkulasi Udara dengan Bilangan Prandtl Berbeda Menggunakan Metode Iteratif SOR (*Successive Overrelaxation*)

```

disp('=====+++++=====');
disp('  SIMULASI SIRKULASI UDARA PADA SISTEM PERNAFASAN MANUSIA  ');
disp('                MENGGUNAKAN METODE BIASA                ');
disp('                Oleh:                ');
disp('                ANDHI SEPTIAN HADI PUTRA (100210101062)    ');
disp('=====+++++=====');

% TAHAP INPUT
m=input('Masukkan Banyaknya Diskritisasi sumbu X = ');
m=input('Masukkan Banyaknya Diskritisasi sumbu Y = ');
u1=input('Masukkan Bilangan Prandtl terkecil = ');
u2=input('Masukkan Bilangan Prandtl terbesar = ');

%TAHAP INISIALISASI
du=(u2-u1)/2;           %interval kecepatan awal
a=0.0005;
rho=1000;               %massa jenis udara
k=1.48;
P=-0.5;                %tekanan
fx=0.1; fy=0.1; v=0.2;
deltx=1/m;             %partisi domain x
delty=1/n;             %partisi domain y
Kg=0.00023;           %konditifitas gas
T=300;                %suhu
h=0.12;               %tinggi (panjang domain trakea)
Cp=0.01;              %kalor jenis
Pall_plot=[];
for u=u1:du:u2;

```

```

P_all=[];

% TAHAP PENDEFINISIAN MATRIKS
A=((3/8)*(rho*Cp*u-rho*u)*delty)+((3/8)*(rho*Cp*v-rho*v)*deltx);
B=(3/8)*(rho*Cp*u-rho*u)*delty;
C=(-7/8)*(rho*Cp*u-rho*u)*delty;
D=(-1/8)*(rho*Cp*u-rho*u)*delty;
E=(-3/8)*(rho*Cp*v-rho*v)*deltx;
F=(7/8)*(rho*Cp*v-rho*v)*deltx;
G=(-1/8)*(rho*Cp*v-rho*v)*deltx;
H=((deltx+delty)*h)+(((a*delty)/deltx)+(2*a)+(a*deltx/delty))*...
    (Kg+(rho*Cp*T/Pr))+P*(deltx+delty)-(fx+fy)*deltx*delty-k*...
    ((u*delty)/deltx+(u*deltx)/delty)-k*((v*delty)/deltx+(v*deltx)/delty);

%TAHAP PEMBANGUNAN MATRIKS
K=zeros(m*n:m*n);
K(1:m*n+1:(m*n)*(m*n))=A;
K(m*n+1:m*n+1:(m*n)*(m*n))=B;
K(m*(m*n)+(m):m*(m*n)+(m):(m*n)*(m*n))=0;
K(2:m*n+1:(m*n)*(m*n-1))=C;
K((m-1)*(m*n)+(m+1):m*(m*n)+(m):(m*n)*(m*n-1))=0;
K(3:m*n+1:(m*n)*(m*n-2))=D;
K((m-2)*(m*n)+(m+1):m*(m*n)+(m):(m*n)*(m*n-2))=0;
K((m-1)*(m*n)+(m+2):m*(m*n)+(m):(m*n)*(m*n-2))=0;
K(m*m*n+1:m*n+1:(m*n)*(m*n))=E; K(m+1:m*n+1:(m*n)*(m*n-m))=F;
K(2*m+1:m*n+1:(m*n)*(m*n-2*m))=G;
K

%PENGGERJAAN MATRIKS
L(1:(m*n),1)=H;
    z=m*n;

```



```

for j=1:z
    x(j,1)=1;
end
[z,z]=size(K); C=-K;
for i=1:z
    C(i,i)=0;
end
for i=1:z
    C(i,1:z)=C(i,1:z)/K(i,i);
end
for i=1:z
    r(i,1)=L(i)/K(i,i);
end
P=x(j,1)';
i=1;
disp(' i      x1      x2      x3      ....');
while (i<=max_it)
    xold=x;
    for j=1:z
        x(j)=(1-w)*xold(j)+w*(C(j,:)*x+r(j));
    end
    if norm(xold-x)<=tol %norm(xold2-x)<=tol norm(xold3-x)<=tol
        P_all=[P_all x];
        Pall_plot=[Pall_plot P_all(:,end)];
        break
    end
    disp([i      x'])
    i=i+1
    P=[P,x'];
end
disp('SOR method converged');

```

```
end
plot(1:m*n,Pall_plot(:,:),1:m*n,Pall_plot(:,:),'ro','MarkerEdgeColor',
      'k','MarkerFaceColor','r');
grid on;
hold on;
xlabel('panjang domain')
ylabel('kecepatan aliran udara')

title('program simulasi sirkulasi udara pada sistem pernafasan
manusia')
legend(strcat('bilangan
Prandtl=',num2str((u1:du:u2)'),'m/s'));
grid on;
hold on;

disp('SOR method converged');
fprintf('%8.6f\n',P')
```

LAMPIRAN B. HASIL SIMULASI

LAMPIRAN B.1 Hasil Simulasi dengan Kecepatan Awal 0.1, 0.2, dan 0.3 dengan Metode Biasa

Tabel Hasil Simulasi Kecepatan Awal 0.1 , 0.2 dan 0.3 dengan Metode Biasa

Titik ke-	0.1 m/s	0.2 m/s	0.3 m/s
1	0.192575	0.192575	0.192418
2	0.191995	0.191995	0.191954
3	0.192032	0.192032	0.191992
4	0.192041	0.192041	0.191998
5	0.192042	0.192042	0.191998
6	0.192042	0.192042	0.191998
7	0.192042	0.192042	0.191998
8	0.192041	0.192041	0.191998
9	0.19205	0.19205	0.192004
10	0.191776	0.191776	0.191789
11	0.192323	0.192323	0.192157
12	0.191702	0.191702	0.19166
13	0.191741	0.191741	0.191699
14	0.191751	0.191751	0.191706
15	0.191751	0.191751	0.191706
16	0.191751	0.191751	0.191706
17	0.191751	0.191751	0.191706
18	0.191751	0.191751	0.191706
19	0.191761	0.191761	0.191712
20	0.191467	0.191467	0.191481
21	0.192351	0.192351	0.192185
22	0.191733	0.191733	0.191691
23	0.191771	0.191771	0.19173
24	0.191782	0.191782	0.191737
25	0.191782	0.191782	0.191737

Titik ke-	0.1 m/s	0.2 m/s	0.3 m/s
26	0.191782	0.191782	0.191737
27	0.191782	0.191782	0.191737
28	0.191781	0.191781	0.191737
29	0.191792	0.191792	0.191743
30	0.191499	0.191499	0.191514
31	0.192354	0.192354	0.192189
32	0.191738	0.191738	0.191696
33	0.191776	0.191776	0.191735
34	0.191786	0.191786	0.191741
35	0.191787	0.191787	0.191742
36	0.191786	0.191786	0.191742
37	0.191786	0.191786	0.191742
38	0.191786	0.191786	0.191741
39	0.191796	0.191796	0.191748
40	0.191504	0.191504	0.191519
41	0.192242	0.192242	0.192072
42	0.191607	0.191607	0.191563
43	0.191645	0.191645	0.191603
44	0.191656	0.191656	0.19161
45	0.191656	0.191656	0.191611
46	0.191656	0.191656	0.19161
47	0.191656	0.191656	0.19161
48	0.191656	0.191656	0.19161
49	0.191666	0.191666	0.191617
50	0.191365	0.191365	0.191381

LAMPIRAN B.2 Hasil Simulasi dengan Bilangan Prandtl 0.8, 0.9, dan 1 dengan Metode Biasa

Tabel Hasil Simulasi Bilangan Prandtl 0.8 , 0.9 dan 1 dengan Metode Biasa

Titik ke-	Bil Prandtl 0.8	Bil Prandtl 0.9	Bil Prandtl 1
1	0.191284	0.193722	0.195671
2	0.181343	0.18655	0.190719
3	0.171003	0.179108	0.185589
4	0.155279	0.167742	0.177731
5	0.143746	0.159458	0.172029
6	0.115178	0.13876	0.157695
7	0.112089	0.136625	0.156268
8	0.044513	0.087608	0.122292
9	0.096725	0.125537	0.148611
10	-0.115347	-0.028148	0.042158
11	0.191429	0.193811	0.195724
12	0.182636	0.187383	0.191239
13	0.17303	0.180401	0.186389
14	0.160947	0.171403	0.18002
15	0.150126	0.163544	0.174566
16	0.131436	0.149291	0.164292
17	0.125117	0.144985	0.161466
18	0.084896	0.113828	0.138747
19	0.114037	0.136655	0.155528
20	-0.018608	0.034744	0.081667

LAMPIRAN B.3 Hasil Simulasi dengan Kecepatan Awal 0.1 , 0.2 dan 0.3 dengan Metode SOR

Tabel Hasil Simulasi Kecepatan Awal 0.1 , 0.2 dan 0.3 dengan Metode SOR

Titik ke-	0.1 m/s	0.2 m/s	0.3 m/s
1	0.187575	0.187497	0.187418
2	0.186995	0.186974	0.186954
3	0.187032	0.187012	0.186992
4	0.187041	0.18702	0.186998
5	0.187042	0.18702	0.186998
6	0.187042	0.18702	0.186998
7	0.187042	0.18702	0.186998
8	0.187041	0.18702	0.186998
9	0.18705	0.187027	0.187004
10	0.186776	0.186782	0.186789
11	0.187323	0.18724	0.187157
12	0.186702	0.18668	0.18666
13	0.186741	0.18672	0.186699
14	0.186751	0.186728	0.186706
15	0.186751	0.186729	0.186706
16	0.186751	0.186728	0.186706
17	0.186751	0.186728	0.186706
18	0.186751	0.186728	0.186706
19	0.186761	0.186736	0.186712
20	0.186467	0.186474	0.186481
21	0.187351	0.187268	0.187185
22	0.186733	0.186712	0.186691
23	0.186771	0.186751	0.18673
24	0.186782	0.186759	0.186737
25	0.186782	0.186759	0.186737

Titik ke-	0.1 m/s	0.2 m/s	0.3 m/s
26	0.186782	0.186759	0.186737
27	0.186782	0.186759	0.186737
28	0.186781	0.186759	0.186737
29	0.186792	0.186767	0.186743
30	0.186499	0.186506	0.186514
31	0.187354	0.187272	0.187189
32	0.186738	0.186716	0.186696
33	0.186776	0.186755	0.186735
34	0.186786	0.186764	0.186741
35	0.186787	0.186764	0.186742
36	0.186786	0.186764	0.186742
37	0.186786	0.186764	0.186742
38	0.186786	0.186764	0.186741
39	0.186796	0.186772	0.186748
40	0.186504	0.186511	0.186519
41	0.187242	0.187157	0.187072
42	0.186607	0.186585	0.186563
43	0.186645	0.186624	0.186603
44	0.186656	0.186633	0.18661
45	0.186656	0.186633	0.186611
46	0.186656	0.186633	0.18661
47	0.186656	0.186633	0.18661
48	0.186656	0.186633	0.18661
49	0.186666	0.186641	0.186617
50	0.186365	0.186373	0.186381

LAMPIRAN B.4 Hasil Simulasi dengan Bilangan Prandtl 0.8, 0.9, dan 1 dengan Metode SOR

Tabel Hasil Simulasi Bilangan Prandtl 0.8 , 0.9 dan 1 dengan Metode Biasa

Titik ke-	Bil Prandtl 0.8	Bil Prandtl 0.9	Bil Prandtl 1
1	0.186284	0.188722	0.190671
2	0.176343	0.18155	0.185719
3	0.166003	0.174108	0.180589
4	0.150279	0.162742	0.172731
5	0.138746	0.154458	0.167029
6	0.110178	0.13376	0.152695
7	0.107089	0.131625	0.151268
8	0.039513	0.082608	0.117292
9	0.091725	0.120537	0.143611
10	-0.120347	-0.033148	0.037158
11	0.186429	0.188811	0.190724
12	0.177636	0.182383	0.186239
13	0.16803	0.175401	0.181389
14	0.155947	0.166403	0.17502
15	0.145126	0.158544	0.169566
16	0.126436	0.144291	0.159292
17	0.120117	0.139985	0.156466
18	0.079896	0.108828	0.133747
19	0.109037	0.131655	0.150528
20	-0.023608	0.029744	0.076667

LAMPIRAN C. Perbandingan Hasil Simulasi Antara Metode Biasa dan Metode SOR

Tabel Perbandingan Hasil Simulasi Antara Metode Biasa dan Metode SOR dengan Kecepatan Awal Berbeda

Titik ke-	Metode Biasa	Metode SOR	<i>Error</i>
1	0.192418	0.190969	0.007530481
2	0.191954	0.190505	0.007548684
3	0.191992	0.190543	0.007547189
4	0.191998	0.190549	0.007546954
5	0.191998	0.190549	0.007546954
6	0.191998	0.190549	0.007546954
7	0.191998	0.190549	0.007546954
8	0.191998	0.190549	0.007546954
9	0.192004	0.190555	0.007546718
10	0.191789	0.19034	0.007555178
11	0.192157	0.190708	0.007540709
12	0.19166	0.190211	0.007560263
13	0.191699	0.19025	0.007558725
14	0.191706	0.190257	0.007558449
15	0.191706	0.190257	0.007558449
16	0.191706	0.190257	0.007558449
17	0.191706	0.190257	0.007558449
18	0.191706	0.190257	0.007558449
19	0.191712	0.190263	0.007558212
20	0.191481	0.190032	0.00756733
21	0.192185	0.190736	0.00753961
22	0.191691	0.190242	0.00755904
23	0.19173	0.190281	0.007557503
24	0.191737	0.190288	0.007557227
25	0.191737	0.190288	0.007557227

Titik ke-	Metode Biasa	Metode SOR	<i>Error</i>
26	0.191737	0.190288	0.007557227
27	0.191737	0.190288	0.007557227
28	0.191737	0.190288	0.007557227
29	0.191743	0.190294	0.00755699
30	0.191514	0.190065	0.007566027
31	0.192189	0.19074	0.007539453
32	0.191696	0.190247	0.007558843
33	0.191735	0.190286	0.007557306
34	0.191741	0.190292	0.007557069
35	0.191742	0.190293	0.00755703
36	0.191742	0.190293	0.00755703
37	0.191742	0.190293	0.00755703
38	0.191741	0.190292	0.007557069
39	0.191748	0.190299	0.007556793
40	0.191519	0.19007	0.007565829
41	0.192072	0.190623	0.007544046
42	0.191563	0.190114	0.007564091
43	0.191603	0.190154	0.007562512
44	0.19161	0.190161	0.007562236
45	0.191611	0.190162	0.007562196
46	0.19161	0.190161	0.007562236
47	0.19161	0.190161	0.007562236
48	0.19161	0.190161	0.007562236
49	0.191617	0.190168	0.00756196
50	0.191381	0.189932	0.007571285

Tabel Perbandingan Hasil Simulasi Antara Metode Biasa dan Metode SOR dengan Bilangan Prandtl Berbeda

Titik ke-	Metode Biasa	Metode SOR	<i>Error</i>
1	0.195671	0.194522	0.005872102
2	0.190719	0.18957	0.00602457
3	0.185589	0.18444	0.0061911
4	0.177731	0.176582	0.006464826
5	0.172029	0.17088	0.006679106
6	0.157695	0.156546	0.007286217
7	0.156268	0.155119	0.007352753
8	0.122292	0.121143	0.009395545
9	0.148611	0.147462	0.007731595
10	0.042158	0.041009	0.027254614
11	0.195724	0.194575	0.005870512
12	0.191239	0.19009	0.006008189
13	0.186389	0.18524	0.006164527
14	0.18002	0.178871	0.006382624
15	0.174566	0.173417	0.006582038
16	0.164292	0.163143	0.006993645
17	0.161466	0.160317	0.007116049
18	0.138747	0.137598	0.00828126
19	0.155528	0.154379	0.007387737
20	0.081667	0.080518	0.01406933