



**ANALISIS NUMERIK ALIRAN UDARA PADA PENYEMPITAN
SALURAN PERNAPASAN AKIBAT PENYAKIT GONDOK
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA
SEBAGAI MONOGRAF**

SKRIPSI

Oleh
Siti Aisyah
NIM 130210101077

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

2017



**ANALISIS NUMERIK ALIRAN UDARA PADA PENYEMPITAN
SALURAN PERNAPASAN AKIBAT PENYAKIT GONDOK
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA
SEBAGAI MONOGRAF**

SKRIPSI

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

Oleh

Siti Aisyah

NIM 130210101077

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

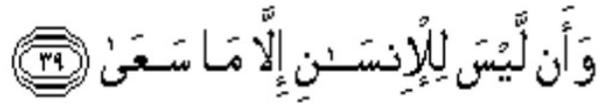
2017

HALAMAN PERSEMBAHAN

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

1. Bapak Moh. Tinggal dan Ibu Salimah, yang tidak pernah putus mendoakan dan mengalirkan rasa cinta dan kasih sayang serta kakakku Agus Sugianto, adikku Fajar Maulana dan ponakanku Hakiki Nur Hidayat yang senantiasa memberi semangat;
2. Bapak Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D., dan Bapak Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si. selaku pembimbing skripsi yang dengan sabar telah memberikan ilmu dan bimbingan selama menyelesaikan skripsi ini;
3. Para guru dan dosen, yang telah memberikan ilmu dan membimbing dalam banyak hal;
4. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
5. Teman-teman terdekatku Alina Mahdia Desbi, Indira Arifiana Putri, Putu Liana Wardani, Apriliana Tezha Eka Faradina, Alivia Zisza Tauhida, Riska Amalia Hakim, R. Ayu Rifqa Z.H., Achmad Fachruddin, Muhammad Alfan Alfarisi, Atiqa Muzayanah, Andjar Eka Wijaya, Hanif Setiawan, Firda Dyah Alvin Hasanah, dan Darian Aji Bawono;
6. Teman-teman seperjuangan Pemodelan dan KKMT Devi Yulianti, Nurul Fika Romadhoni, Ahmad Rizqi Lazuardi, Putri Nur Amalina, Budi Adi Saputra, Juanda Brahmanto, Ulul Azmi, Rialita Fitri Azizah, Slamet Fitriadi, dan Aghni Ermawati Aribowo;
7. Teman-teman Pendidikan Matematika FKIP Universitas Jember Angkatan 2013
8. Teman-teman penghuni FDAY52 (Erna, Indri, Zula, Fira, Kiki, Lia, Nida, Ovi, Intan, Ketrin, Veli);

HALAMAN MOTTO



"Dan bahwa manusia hanya memperoleh apa yang telah diusahakannya"
(Q.S. An-Najm:39)

"Elemen terpenting kita bukan pada otak.
Namun, pada apa yang menuntun otak kita
(*kepribadian, hati, kebaikan dan ide-ide progresif*)"
- Fyodor Dostoyevsky -

"Kebanggaan kita yang terbesar adalah bukan tidak pernah gagal,
tetapi bangkit kembali setiap kali kita jatuh"
- Confius -

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Siti Aisyah

NIM : 130210101077

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul ” *Analisis Numerik Aliran Udara pada Penyempitan Saluran Pernapasan Akibat Penyakit Gondok Menggunakan Metode Elemen Hingga sebagai Monograf*” 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, 21 Maret 2017

Yang menyatakan,

Siti Aisyah

NIM. 130210101077

HALAMAN PENGANTAR

ANALISIS NUMERIK ALIRAN UDARA PADA PENYEMPITAN
SALURAN PERNAPASAN AKIBAT PENYAKIT GONDOK
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA
SEBAGAI MONOGRAF

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 : Siti Aisyah
NIM : 130210101077
Tempat, tanggal Lahir : Pamekasan, 23 Januari 1995
Jurusan / Program Studi : Pendidikan MIPA / Pendidikan Matematika

Disetujui oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,

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

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

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi berjudul : Analisis Numerik Aliran Udara pada Penyempitan Saluran Pernapasan Akibat Penyakit Gondok Menggunakan Metode Elemen Hingga sebagai Monograf telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan pada:

Hari : Selasa
Tanggal : 21 Maret 2017
Tempat : Gedung 3 FKIP UNEJ

Tim Penguji :

Ketua,

Sekretaris,

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

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

Anggota I,

Anggota II,

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

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

Mengetahui,
Dekan Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan
Universitas Jember

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

RINGKASAN

Analisis Numerik Aliran Udara pada Penyempitan Saluran Pernapasan Akibat Penyakit Gondok Menggunakan Metode Elemen Hingga sebagai Monograf; Siti Aisyah, 130210101077; 2017: 72 halaman; Program Studi Pendidikan Matematika, Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

Matematika digunakan sebagai alat penting dalam berbagai bidang termasuk ilmu alam, ilmu ekonomi, bahkan juga di dalam ilmu kedokteran. Ilmu kedokteran adalah ilmu yang meliputi pengetahuan tentang sistem tubuh manusia, penyakit serta pengobatannya dan penerapan dari pengetahuan tersebut. Banyak cabang disiplin ilmu kedokteran yang mempelajari tentang struktur dan fungsi organ, salah satu diantaranya adalah mengenai kelenjar tiroid.

Pada kondisi normal, kinerja kelenjar tiroid cenderung tidak kita sadari sama seperti organ-organ dalam yang lain. Tetapi jika terjadi pembengkakan, kelenjar tiroid akan membentuk benjolan pada leher. Pembengkakan yang membentuk benjolan inilah yang disebut dengan penyakit gondok (*goiter*). Tidak semua penderita penyakit gondok mengalami gejalanya. Indikasi yang sering muncul yaitu terbentuknya benjolan abnormal pada leher. Ukuran benjolan gondok berbeda-beda pada tiap penderita. Benjolan yang berukuran kecil biasanya tidak menyebabkan gejala apa pun, yang perlu diperhatikan adalah pembesaran yang terjadi ke arah rongga dada karena dapat menekan jalan napas (*trachea*) karena dapat menyebabkan penyempitan saluran pernapasan.

Dari latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian yang memiliki tujuan untuk mengetahui model matematika penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok, menyelesaikan model menggunakan metode elemen hingga, menganalisis pengaruh ukuran jari-jari saluran pernapasan dan kecepatan awal terhadap kecepatan aliran udara pada daerah penyempitan, menganalisis pola kecepatan aliran udara pada daerah penyempitan dan untuk mengetahui efektivitas metode elemen hingga dalam menganalisis masalah penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok.

Tahapan kegiatan penelitian meliputi: pertama, menentukan model matematika penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok. Tahapan ini meliputi studi pustaka tentang penyempitan saluran pernapasan kemudian mem-

buat model matematika persamaan momentum, kemudian melakukan penurunan persamaan elemen dan penyelesaian dalam waktu. Setelah mendapatkan matriks global penyelesaian dalam waktu langkah kedua adalah membuat program matematika penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok dengan MATLAB. Ketiga, melakukan simulasi dengan FLUENT untuk mengetahui pola kecepatan aliran udara pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok.

Adapun hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Model matematika penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok merupakan persamaan yang dinyatakan pada persamaan momentum. Berikut ini adalah persamaannya.

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial \rho v \phi_y}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho \frac{\partial g}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(2\mu \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right) \right) \quad (1)$$

dimana,

$$P = \frac{Q8\eta l}{\pi r^4} \quad (2)$$

2. Pada hasil simulasi menggunakan MATLAB didapatkan bahwa dengan kecepatan awal 0.4 m/s pada saluran pernapasan normal jari-jari 0.025 m kecepatan aliran cenderung konstan yaitu 0.4010 m/s. Akan tetapi, ketika saluran pernapasan mengalami penyempitan, kecepatan alirannya meningkat ketika aliran mendekati daerah penyempitan yaitu pada jari-jari 0.020 m dan 0.015 m kecepatan berturut-turut menjadi 1.0060 m/s dan 3.2199 m/s.
3. Pada penyempitan saluran pernapasan, kecepatan awal juga mempengaruhi besarnya peningkatan kecepatan aliran. Semakin besar kecepatan awal yang diberikan, maka semakin besar pula kecepatan di daerah penyempitan. Pada simulasi menggunakan MATLAB didapatkan bahwa dengan jari-jari saluran 0.01631 m dan kecepatan awal 0.2 m/s, 0.4 m/s dan 0.6 m/s kecepatannya meningkat menjadi 1.0024 m/s, 2.2982 m/s dan 4.0929 m/s.
4. Persamaan penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok adalah model yang efektif dalam menyelesaikan pengaruh ukuran jari-jari saluran pernapasan dan kecepatan awal terhadap kecepatan aliran udara didapatkan error relatif 0.005964 dan 0.002394 dengan tingkat toleransi kesalahan perhitungan 0.01.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Analisis Numerik Aliran Udara pada Peyempitan Saluran Pernapasan Akibat Penyakit Gondok Menggunakan Metode Elemen Hingga sebagai Monograf. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Matematika Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

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

1. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Ketua Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
3. Ketua Program Studi Pendidikan Matematika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
4. Ketua Laboratorium Matematika Program Studi Pendidikan Matematika Jurusan Pendidikan MIPA FKIP;
5. Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
6. Dosen Pembahas dan Dosen Penguji yang telah memberikan masukan demi kesempurnaan skripsi ini;
7. Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan memberikan ilmu;
8. Dosen dan Karyawan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
9. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini.

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

Jember, 21 Maret 2017

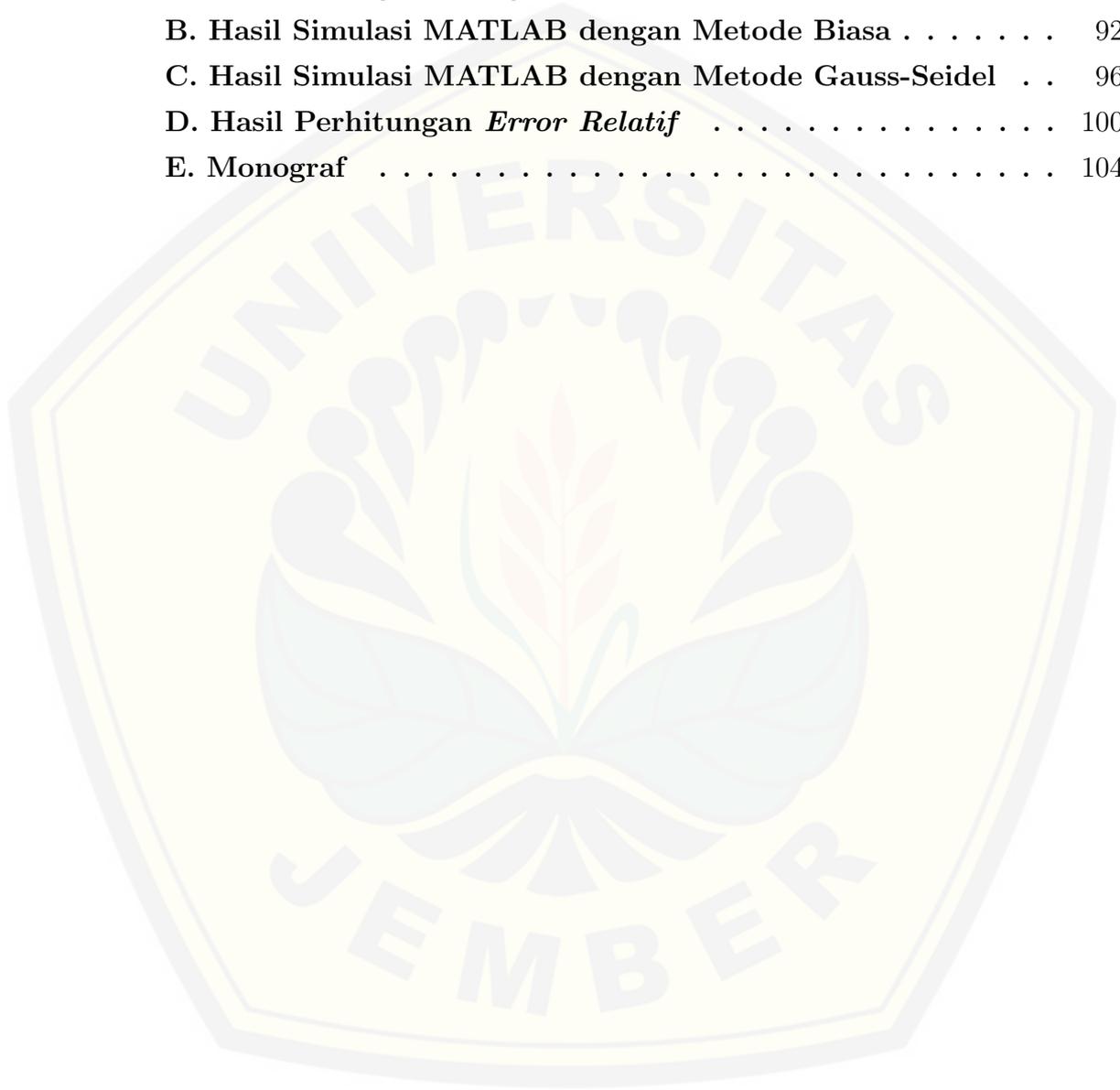
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PENGAJUAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMBANG	xv
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Kebaharuan Penelitian	4
2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pemodelan Matematika	6
2.2 CFD (<i>Computational Fluid Dynamics</i>)	7
2.2.1 Pengertian CFD	7
2.2.2 Sejarah CFD	8
2.2.3 Langkah-langkah Analisis CFD	8
2.3 Perangkat Lunak dalam CFD	9
2.3.1 GAMBIT	9
2.3.2 FLUENT	10
2.4 Metode Elemen Hingga	16
2.4.1 Persamaan Momentum	17

2.5	Algoritma dan Pemograman MATLAB	18
2.5.1	Algoritma dan Pemograman	18
2.5.2	MATLAB 7.0	18
2.5.3	Metode Gauss Seidel	21
2.5.4	Galat atau <i>Error</i>	24
2.6	Kelenjar Tiroid	26
2.7	Penyakit Gondok	27
2.8	Penyempitan Saluran Pernapasan	28
2.9	Fluida	29
2.9.1	Jenis-Jenis Fluida	30
2.9.2	Jenis-Jenis Aliran Fluida	31
2.10	Monograf	33
3	METODE PENELITIAN	34
3.1	Jenis Penelitian	34
3.2	Tempat Penelitian	34
3.3	Prosedur Penelitian	34
3.4	Definisi Operasional	37
3.5	Metode Pengumpulan Data	37
3.6	Data dan Analisis Data	38
4	HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1	Persamaan Momentum Penyempitan Saluran Pernapasan	40
4.2	Penurunan Persamaan Elemen	41
4.2.1	Penyusunan Matriks Global	49
4.3	Penyelesaian dalam Waktu	51
4.4	Efektivitas Metode Elemen Hingga dengan Menggunakan <i>Error Relatif</i> dalam Analisis Simulasi Aliran Udara pada Penyempitan Saluran Pernapasan Akibat Penyakit gondok	53
4.4.1	Format <i>Programming</i>	53
4.4.2	Penggunaan <i>Error Relatif</i> pada Metode Elemen Hingga . .	55
4.4.3	Simulasi Pemodelan	56
4.5	Analisis dan Pembahasan	57
4.5.1	Komputasi MATLAB	57
4.5.2	Visualisasi Simulasi FLUENT	61

5 KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN-LAMPIRAN	
A. Format <i>Programming</i> MATLAB	73
B. Hasil Simulasi MATLAB dengan Metode Biasa	92
C. Hasil Simulasi MATLAB dengan Metode Gauss-Seidel	96
D. Hasil Perhitungan <i>Error Relatif</i>	100
E. Monograf	104



DAFTAR GAMBAR

2.1 Tahapan penyusunan model matematika	7
2.2 Tampilan <i>software</i> GAMBIT	9
2.3 Seri FLUENT	10
2.4 Tampilan <i>worksheet</i> FLUENT	10
2.5 Hasil simulasi menggunakan <i>software</i> FLUENT	11
2.6 Tampilan MATLAB	18
2.7 Kelenjar tiroid dilihat dari depan dan belakang	27
2.8 Penyakit gondok	28
2.9 (a) Struktur sistem pernapasan (b) Struktur geometri penyempitan saluran	29
2.10 Fluida gas	30
2.11 Fluida cair	30
2.12 Klarifikasi aliran fluida	31
2.13 Distribusi kecepatan aliran laminar pada pipa tertutup	31
2.14 Distribusi kecepatan aliran turbulen dalam pipa tertutup	32
3.1 Diagram alir prosedur penelitian	36
4.1 Grafik kecepatan aliran udara yang dipengaruhi oleh ukuran	58
4.2 Grafik kecepatan aliran dengan jari-jari saluran 0.015 m,	58
4.3 Grafik kecepatan aliran udara dengan jari-jari saluran 0.015 m,	59
4.4 Grafik kecepatan aliran udara yang dipengaruhi oleh kecepatan awal	60
4.5 Grafik kecepatan aliran udara yang dipengaruhi oleh kecepatan awal	60
4.6 Grafik kecepatan aliran udara yang dipengaruhi oleh kecepatan awal	61
4.7 Desain saluran pernapasan menggunakan GAMBIT	62
4.8 Simulasi kecepatan aliran udara pada saluran	63
4.9 Simulasi kecepatan aliran udara dengan jari-jari	63
4.10 Simulasi kecepatan aliran udara dengan jari-jari	64
4.11 Simulasi kecepatan aliran udara dengan kecepatan awal 0.2 m/s	65
4.12 Simulasi kecepatan aliran udara dengan kecepatan awal 0.4 m/s	65
4.13 Simulasi kecepatan aliran udara dengan kecepatan awal 0.6 m/s	66

DAFTAR TABEL

2.1	Tabel Penelitian Murni Penggunaan CFD	12
2.2	Kategori Penyakit Gondok	28



DAFTAR LAMBANG

$[A]$	=	matriks kekakuan
$\{u\}$	=	vektor kolom
F	=	gaya
D	=	debit aliran
P	=	tekanan
r	=	jari-jari saluran
η	=	kekentalan
l	=	panjang saluran
μ	=	koefisien gesek
ρ	=	massa jenis
τ	=	tegangan
g	=	gravitasi
y	=	sumbu y
t	=	waktu
v	=	kecepatan

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Matematika merupakan ilmu dasar yang memiliki peranan penting dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi modern. Seiring dengan perkembangan, banyak permasalahan dan kegiatan kehidupan sehari-hari yang harus diselesaikan dengan menggunakan ilmu matematika seperti menghitung, mengukur, dan lain-lain. Matematika digunakan sebagai alat penting dalam berbagai bidang termasuk ilmu alam, ilmu ekonomi, bahkan juga di dalam ilmu kedokteran.

Ilmu kedokteran adalah ilmu yang meliputi pengetahuan tentang sistem tubuh manusia, penyakit serta pengobatannya dan penerapan dari pengetahuan tersebut. Banyak cabang disiplin ilmu kedokteran yang mempelajari tentang struktur dan fungsi organ, tentang cara mempertahankan kesehatan manusia, dan mengembalikan manusia pada keadaan sehat dengan memberikan pengobatan pada penyakit dan cedera.

Kelenjar tiroid adalah organ berbentuk kupu-kupu dengan dua sayap yang merupakan lobus tiroid kiri dan kanan, kedua lobus dihubungkan oleh jaringan tiroid yang lebih kecil yang disebut dengan *isthmus*. Kelenjar tiroid merupakan kelenjar terbesar yang ada di leher dengan ukuran panjang sekitar 2 inci. Tiroid ini terletak di anterior (bagian depan) leher di bawah tulang rawan tiroid yang menonjol atau sering kita sebut dengan jakun, diselimuti oleh lapisan kulit dan otot.

Pada kondisi normal, kinerja kelenjar tiroid cenderung tidak kita sadari sama seperti organ-organ dalam yang lain. Tetapi jika terjadi pembengkakan, kelenjar tiroid akan membentuk benjolan pada leher. Pembengkakan yang membentuk benjolan inilah yang disebut dengan penyakit gondok (*goiter*).

Tidak semua penderita penyakit gondok mengalami gejalanya. Tidak semua pembesaran yang terjadi pada tiroid berbahaya karena tidak otomatis meningkat-

kan produksi hormon. Indikasi yang sering muncul yaitu terbentuknya benjolan abnormal pada leher adalah gejala utama dari kondisi ini. Ukuran benjolan gondok berbeda-beda pada tiap penderita. Benjolan yang berukuran kecil biasanya tidak menyebabkan gejala apa pun. Yang perlu diperhatikan adalah pembesaran yang terjadi ke arah rongga dada karena dapat menekan jalan napas (*trachea*) dan jalan makan (*esofagus*). Gejala-gejala lain yang umumnya menyertai pembengkakan meliputi tenggorokan yang terasa sesak, perubahan suara (misalnya menjadi serak) dan batuk-batuk. Selain itu, ketika hormon tiroid yang dihasilkan berlebihan akan mengakibatkan otot-otot di dada dan sekat paru-paru menjadi kecil dan melemah.

Dilaporkan pada tahun 2009, di Amerika ditemukan kasus Goiter pada sejumlah lebih dari 250.000 pasien. Penyakit ini dominan terjadi pada perempuan dibandingkan laki-laki. Umumnya 95% kasus Gondok bersifat jinak (*benigna*), sisanya 5% kasus kemungkinan bersifat ganas (*maligna*). Menurut WHO, Indonesia sendiri merupakan negara yang dikategorikan endemis kejadian goiter.

Gondok merupakan salah satu penyakit atau Gangguan Akibat Kekurangan Yodium (GAKY). GAKY adalah gejala yang timbul karena tubuh seseorang kekurangan yodium secara terus menerus dalam jangka waktu yang cukup lama. Pemetaan GAKY Nasional tahun 1996/1998 mencakup semua kecamatan sehingga memungkinkan untuk mengolah data didasarkan pada letak geografis yang dikategorikan menjadi dataran tinggi, dataran rendah dan daerah rawa. Secara geografis dataran dapat dibagi menjadi 3 yaitu: Dataran Tinggi (ketinggian di atas 200 m), Dataran Rendah (ketinggian di bawah 200 m) dan Daerah Rawa-rawa (sama dengan permukaan laut). Prevalensi gondok berdasarkan letak geografis yang diolah berdasarkan prevalensi gondok pada anak sekolah menunjukkan bahwa prevalensi gondok tertinggi ditemukan di daerah dataran tinggi sebesar 30.3%, disusul daerah dataran rendah (8.7%) dan di daerah rawa hanya sebesar 2.8% (Saidin, 2009).

Dari uraian di atas, akan dilakukan penelitian dengan memodelkan aliran udara pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok. Dalam penelitian ini akan dikembangkan suatu model persamaan diferensial yang dibentuk dalam tiga dimensi. Metode yang digunakan untuk menyelesaikan model yang telah terbentuk secara numerik adalah metode elemen hingga. Metode elemen

hingga adalah metode yang digunakan untuk penyelesaian masalah teknik dan fisika matematis, yang meliputi permasalahan analisis struktur, transfer panas, aliran fluida dan perpindahan massa. Dalam metode elemen hingga perlu dilakukan prosedur diskritisasi untuk menyederhanakan penyelesaian eksak kontinu agar didapat suatu nilai aproksimasi yang mendekati nilai sebenarnya. Untuk membantu proses menganalisis dan simulasi model matematika tersebut, digunakan software MATLAB dan FLUENT.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. bagaimana model matematika penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok ?
2. bagaimana hasil analisis pengaruh jari-jari pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok terhadap kecepatan aliran udara?
3. bagaimana hasil analisis pengaruh kecepatan awal pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok terhadap kecepatan aliran udara?
4. bagaimana efektivitas metode elemen hingga dalam menganalisis masalah penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok?

1.3 Batasan Masalah

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

1. saluran pernapasan yang mengalami penyempitan adalah bagian trakea
2. proses yang dianalisis adalah aliran udara pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok berdasarkan kecepatan aliran udara dan jari-jari saluran pernapasan
3. diasumsikan bahwa pembengkakan kanan dan kiri yang terjadi memiliki ukuran yang sama
4. viskositas zat diabaikan
5. jenis dan sifat yang menyebabkan penyempitan saluran pernapasan diabaikan
6. persamaan model matematika yang dilakukan adalah persamaan momentum

7. metode penyelesaian yang digunakan adalah metode elemen hingga dengan pendekatan kuadratik
8. analisis yang digunakan menggunakan bantuan *software* MATLAB
9. model matematika disimulasikan menggunakan FLUENT

1.4 Tujuan Penelitian

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

1. untuk mengembangkan model matematika penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok
2. untuk mengetahui hasil analisis pengaruh jari-jari pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok terhadap kecepatan aliran udara
3. untuk mengetahui hasil analisis pengaruh kecepatan awal pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok terhadap kecepatan aliran udara?
4. untuk mengetahui efektivitas metode elemen hingga dalam menganalisis masalah penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. sebagai acuan untuk peneliti lain dalam penelitian sejenis atau penelitian lebih lanjut
2. menambah pengetahuan baru bagi peneliti dalam bidang kesehatan
3. menambah pengetahuan peneliti dalam bidang pemodelan matematika dengan memberikan kontribusi terhadap berkembangnya pengetahuan baru dalam pemodelan matematika menggunakan metode elemen hingga

1.6 Kebaharuan Penelitian

Adapun kebaharuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. model matematika diselesaikan menggunakan metode elemen hingga dengan pendekatan kuadratik
2. model rumus yang dipakai berbeda dengan sebelumnya

3. solusi numerik dari model matematika akan diselesaikan dengan *software* MATLAB
4. model matematika akan disimulasikan menggunakan FLUENT
5. hasil penelitian akan dibuat sebuah monograf



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemodelan Matematika

Menurut Parlaungan (dalam Qoriatul, 2013) pemodelan matematika (*mathematical modelling*) adalah penurunan suatu studi tentang konsep dan operasi matematika dalam konteks dunia real dan pembentukan model-model dalam menggali dan memahami situasi masalah kompleks yang sesungguhnya. Representasi matematika yang dihasilkan dari proses ini dikenal sebagai model matematika.

Menurut Widowati dan Sutimin (2007:2-3) terdapat beberapa jenis-jenis model matematika, yaitu :

1. Model Empiris

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

2. Model Simulasi

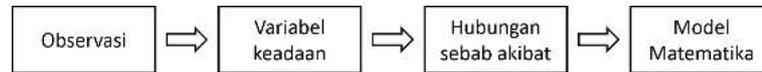
Pendekatan yang lain untuk pemodelan matematika adalah konstruksi model simulasi. Dalam pendekatan ini, program komputer ditulis didasarkan pada aturan-aturan. Aturan-aturan ini dipercaya untuk membentuk bagaimana suatu proses atau fenomena akan berjalan terhadap waktu dalam kehidupan nyata. Program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

3. Model Deterministik dan Stokastik

Model deterministik meliputi penggunaan persamaan atau himpunan persamaan untuk mempresentasikan hubungan antara berbagai komponen (atau variabel) suatu sistem atau problem. Suatu contoh adalah persamaan diferensial biasa yang menjelaskan bagaimana suatu kuantitas tertentu berubah terhadap waktu. Persamaan ini menunjukkan hubungan antara kuantitas

(yang dinyatakan oleh variabel tak bebas dari persamaan) dan waktu sebagai variabel bebas. Diberikan syarat awal yang sesuai, persamaan diferensial dapat diselesaikan untuk memprediksi perilaku sistem model.

Penyusunan pemodelan matematika akan mengikuti beberapa tahap, yaitu:



Gambar 2.1 Tahapan penyusunan model matematika

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

2.2 CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

2.2.1 Pengertian CFD

Computational Fluid Dynamics atau bisa disebut CFD dapat diartikan suatu teknologi komputasi yang digunakan untuk mempelajari dan sebagai alat untuk menganalisa fenomena dinamika fluida seperti aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, aliran multifasa, interaksi fluida dengan struktur dan sistem akustik, interaksi fluida dan solid. Pada dasarnya persamaan-persamaan pada interaksi fluida dibangun dan dianalisis berdasarkan persamaan-persamaan diferensial parsial (PDE = *partial differential equation*) yang merepresentasikan hukum-hukum konservasi massa, momentum, dan energi. CFD merupakan pendekatan dari persoalan yang asalnya kontinum (memiliki jumlah sel tak terhingga) menjadi model yang diskrit (jumlah sel terhingga) sehingga sebagai hasil akan didapat data-data, gambar-gambar visual atau kurva-kurva yang menunjukkan prediksi dari performansi keandalan sistem yang didesain (Sukarsono, 2012).

2.2.2 Sejarah CFD

Sejarah CFD berawal pada tahun 60-an dan terkenal pada tahun 70-an awalnya pemakaian konsep CFD hanya digunakan untuk aliran fluida dan reaksi kimia, namun seiring dengan perkembangannya industri ditahun 90-an membuat CFD makin dibutuhkan pada berbagai aplikasi lain. Pemakaian CFD secara umum dipakai untuk memprediksi :

- o aliran dan panas
- o transfer massa
- o perubahan fasa seperti pada proses melting pengembunan dan pendidihan
- o reaksi kimia seperti pembakaran
- o gerakan mekanis seperti piston dan fan
- o tegangan dan tumpuan pada benda solid
- o gelembung elektromagnetik (Indra, 2012).

2.2.3 Langkah-langkah Analisis CFD

Langkah-langkah analisis CFD adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi masalah dan *pre-processing*
 - o mendefinisikan tujuan pemodelan
 - o mengidentifikasi domain yang akan dimodelkan
 - o mendesain dan membuat grid/mesh pada model
2. *Eksekusi solver*
 - o melakukan set-up model numerik
 - o melakukan proses perhitungan dan memonitor hasil perhitungan
3. *Post-processing*
 - o memeriksa hasil simulasi
 - o mempertimbangkan revisi model dan proses simulasi.

Hasil analisis CFD dapat digunakan untuk :

- o studi konsep desain baru
- o pengembangan detail produk
- o *troubleshooting*
- o redesain

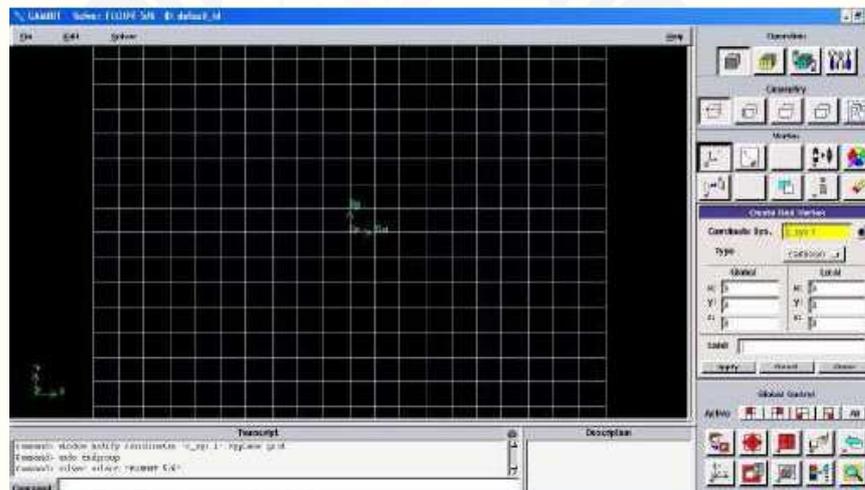
Penggunaan CFD dapat mengurangi total usaha yang dibutuhkan untuk eksperimen dan data akuisisi (Subekti, 2009).

2.3 Perangkat Lunak dalam CFD

2.3.1 GAMBIT

GAMBIT merupakan singkatan dari *Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit*. GAMBIT diproduksi oleh Fluent Inc., salah satu produsen perangkat lunak (*software*) analisis komputasi fluida dinamik (*Computational Fluid Dynamics*) yang menguasai 60% pangsa pasar dunia untuk perangkat lunak (*software*) CFD.

Perangkat lunak (*software*) GAMBIT merupakan salah satu preprocessor yang didesain untuk membantu membuat model dan melakukan diskritisasi (*meshing*) pada model untuk analisis CFD. Karena menggunakan *Graphical User Interface* (GUI) saat penerimaan input, GAMBIT memudahkan penggunaannya dalam pembuatan model dan proses *meshing*. GAMBIT dapat mengakomodasi berbagai macam aplikasi pemodelan dan mengimpor dari berbagai format, seperti ACIS, STEP, *Parasolid*, IGES, dan lain-lain, sehingga membuat pemodelan yang dilakukan lebih fleksibel, dapat digabungkan dengan berbagai format *software* pemodelan lain.

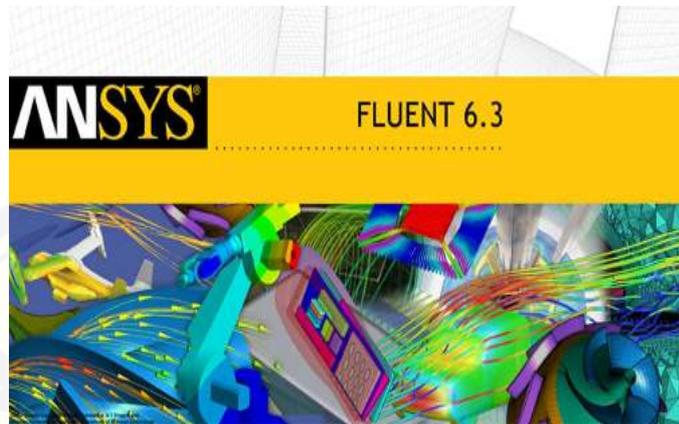


Gambar 2.2 Tampilan *software* GAMBIT

GAMBIT dapat membuat model dan melakukan proses meshing untuk berbagai macam bentuk, termasuk bentuk-bentuk yang rumit dan tidak beraturan. Hal ini dikarenakan GAMBIT dapat melakukan meshing dengan berbagai macam bentuk mesh, yaitu mesh heksahedral terstruktur dan tidak terstruktur, tetrahedral, piramid, dan prisma. Selain itu, GAMBIT juga dapat melakukan pemeriksaan kualitas mesh sesuai dengan standar yang diinginkan. Tahap pemodelan

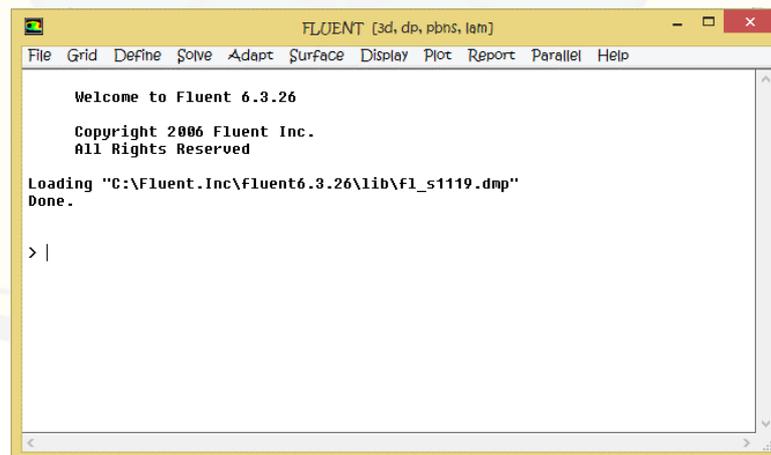
terakhir pada GAMBIT adalah proses penentuan jenis kondisi batas. Mesh yang telah dibuat pada GAMBIT dapat diekspor ke semua solver FLUENT, termasuk FIDAP dan POLYFLOW (Susanto, 2012:486).

2.3.2 FLUENT



Gambar 2.3 Seri FLUENT

FLUENT adalah salah satu jenis program CFD (*Computational Fluid Dynamics*) yang ditulis dalam bahasa C, sehingga memiliki struktur data yang efisien dan lebih fleksibel. FLUENT menyediakan fleksibilitas mesh yang lengkap, sehingga dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan mesh (*grid*) yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah. Jenis mesh yang didukung oleh FLUENT adalah tipe 2D *triangular-quadrilateral*, 3D *tetrahedral-hexahedral-pyramid wedge*, dan mesh campuran (*hybrid*).

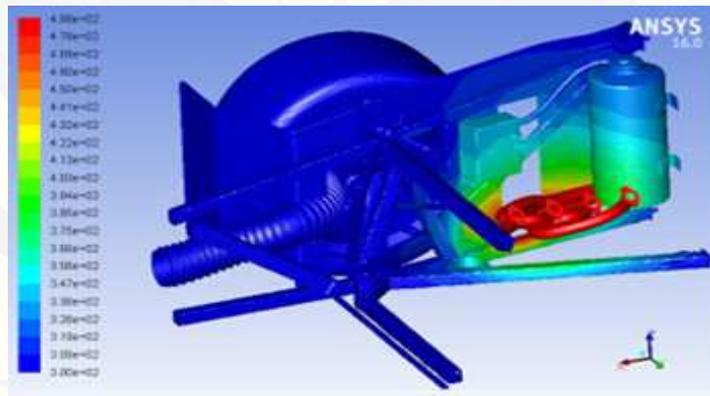


Gambar 2.4 Tampilan *worksheet* FLUENT

Setelah merencanakan analisis CFD pada model, langkah-langkah umum penyelesaian analisis CFD pada Fluent sebagai berikut:

1. mengimpor mesh model yang telah dibuat dengan GAMBIT(*grid*)
2. melakukan pemeriksaan (*check*) pada mesh model
3. memilih solver
4. memilih persamaan dasar yang akan dipakai dalam analisis, misalnya: laminar, turbulen, reaksi kimia, perpindahan kalor, dan lain-lain
5. menentukan sifat material yang akan dipakai
6. menentukan kondisi batas
7. mengatur parameter kontrol solusi
8. *initialize the flow field*
9. melakukan perhitungan/iterasi
10. memeriksa hasil iterasi
11. menyimpan hasil iterasi.

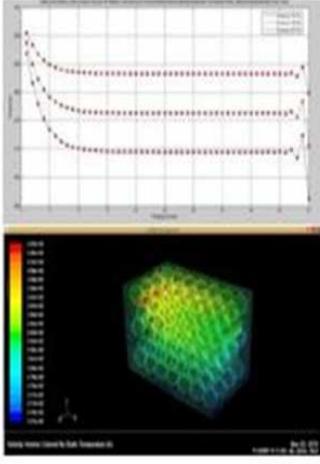
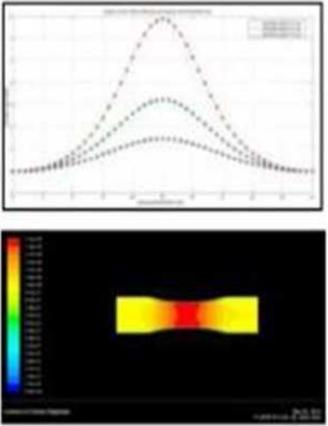
Dari langkah-langkah di atas fluent dapat menghasilkan hasil simulasi yang berupa gambaran yang mendekati kondisi sebenarnya. Kita juga bisa memasukkan indikator-indikator yang sesuai dengan data-data yang kita peroleh dari pengamatan. Untuk fluida kita bisa memasukkan suhu, kecepatan, serta tekanan yang ada pada objek sebenarnya (Tuakia, 2008:138).

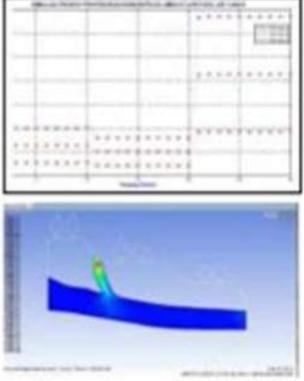
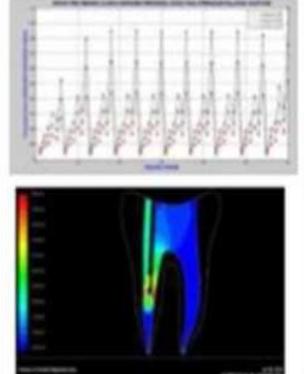
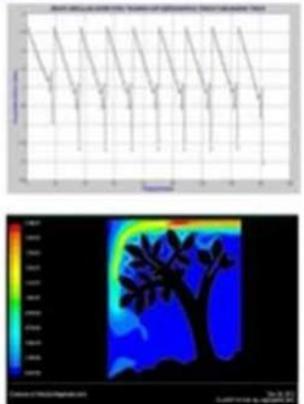


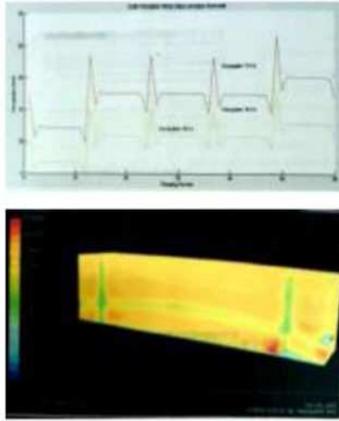
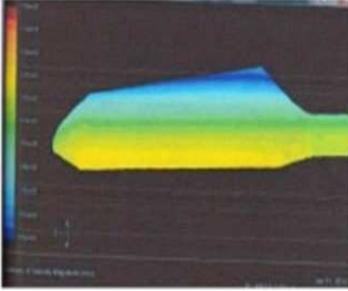
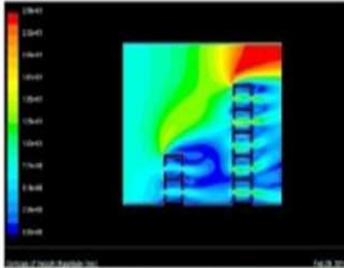
Gambar 2.5 Hasil simulasi menggunakan *software* FLUENT
(sumber : www.ansys.com)

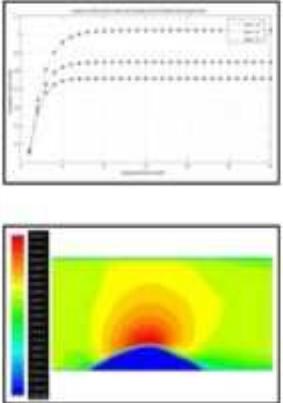
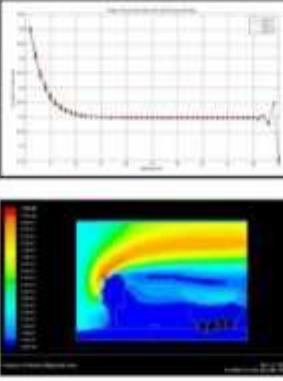
Beberapa contoh penggunaan CFD dalam beberapa penelitian murni dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.1 Tabel Penelitian Murni Penggunaan CFD

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

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

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

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

2.4 Metode Elemen Hingga

Nama Elemen Hingga disebutkan pertama kali pada tahun 1960 dalam makalah RW. Clough, yaitu *The Finite Element Method in Plane Stress Analysis*. Dalam kasus ini diterapkan pada masalah tegangan bidang dengan menggunakan elemen segitiga dan segi empat. Metode elemen hingga sampai saat ini telah mendapat perhatian dan kepopuleran yang luar biasa. Konsep dasar yang melandasi metode elemen hingga yaitu prinsip diskritisasi yang sebenarnya telah banyak digunakan dalam usaha manusia. Mungkin kebutuhan terhadap pendiskritan, atau membagi suatu benda menjadi benda-benda yang berukuran lebih kecil supaya lebih mudah pengelolaannya, timbul dari keterbatasan manusia yang mendasar, yaitu mereka tidak dapat melihat atau memahami benda sekelilingnya di dalam semesta dalam bentuk keseluruhan atau totalitas. Dengan kata lain kita mendiskritkan ruang disekitar kita kedalam segmen-segmen kecil, dan hasil rakitan akhir yang kita visualisasikan adalah tiruan dari lingkungan kontinu yang nyata (Dolu, 2010).

Persamaan dalam Metode Elemen Hingga biasanya berbentuk :

$$[A] \{u\} = F$$

dimana :

$[A]$ = Matrik kekakuan

$\{u\}$ = Vektor kolom dengan komponen matrik berupa nilai nodal

F = Gaya yang bekerja pada nodal

Adapun langkah-langkah dalam memakai *finite element method* untuk analisa gerakan pada *continous system* yaitu:

1. *Discretization* daripada domain
 - o 1-D contoh pada sumbu x saja, atau mungkin juga pada sumbu x dan y saja
 - o 2-D contoh pada sumbu x dan y, atau biasa dikenal dengan r dan θ
 - o 3-D contoh pada sumbu x, y, z atau biasa dikenal dengan r, θ dan z
2. Pilih *polynomial function* di dalam mencari *shape function*
3. Penjabaran *element equation* (Mulyadi, 2015).

Setiap permasalahan yang ada akan diselesaikan dengan pendekatan kuadrat. Pada pendekatan kuadrat fungsi tersebut adalah

$$C = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 x^2$$

dengan $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ yaitu:

$$C = C_i \text{ dengan } x = 0$$

$$C = C_j \text{ dengan } x = \frac{l}{2}$$

$$C = C_k \text{ dengan } x = l$$

jadi

$$\alpha_1 = C_i$$

$$\alpha_2 = \frac{4C_j - 3C_i - C_k}{l}$$

$$\alpha_3 = (C_i - 2C_j + C_k) \frac{2}{l^2}$$

sehingga

$$C = C_i + \frac{4C_j - 3C_i - C_k}{l} x + (C_i - 2C_j + C_k) \frac{2}{l^2} x^2$$

$$C = C_i \left[1 - \frac{3x}{l} + 2\frac{x^2}{l^2} \right] + C_j \left[\frac{4x}{l} - \frac{4x^2}{l^2} \right] + C_k \left[\frac{-x}{l} + 2\frac{x^2}{l^2} \right]$$

$$C = C_i \left[1 - \frac{2x}{l} \left(1 - \frac{x}{l} \right) \right] + C_j \left[\frac{4x}{l} - \left(1 - \frac{x}{l} \right) \right] + C_k \left[\frac{-x}{l} \left(1 - \frac{2x}{l} \right) \right]$$

dapat ditulis

$$C = N_i C_i + N_j C_j + N_k C_k$$

dengan

$$N_i = \left(1 - \frac{2x}{l} \right) \left(1 - \frac{x}{l} \right)$$

$$N_j = \frac{4x}{l} \left(1 - \frac{x}{l} \right)$$

$$N_k = \frac{-x}{l} \left(1 - \frac{2x}{l} \right)$$

2.4.1 Persamaan Momentum

Persamaan momentum dibentuk berdasarkan hukum kekekalan momentum yang diturunkan melalui persamaan diferensial gerak fluida dengan meninjau volume keunsuran atau sistem keunsuran (White, 1986:202).

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

ΣF adalah jumlah dari seluruh gaya-gaya yang bekerja didalam sistem, dimana pada penelitian ini gaya-gaya yang bekerja adalah tekanan, kekentalan zat, gaya gravitasi dan tegangan zat.

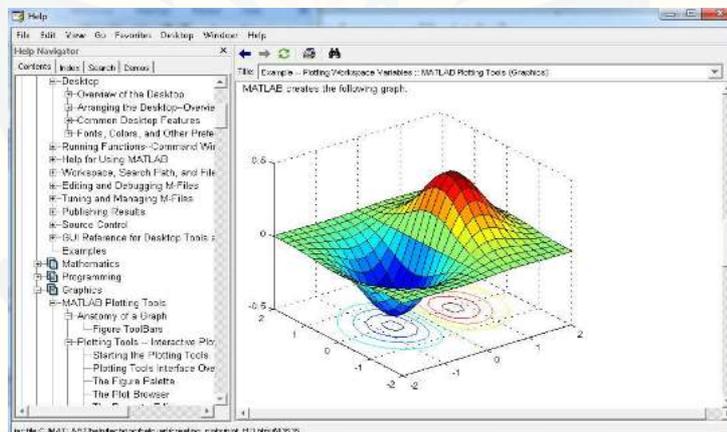
2.5 Algoritma dan Pemograman MATLAB

2.5.1 Algoritma dan Pemograman

Algoritma merupakan rentetan (*sequence*) langkah logika yang diperlukan untuk melakukan suatu tugas tertentu seperti misalnya memecahkan masalah. Selain mencapai tujuannya algoritma yang baik haruslah mempunyai sejumlah atribut berikut:

1. Tiap langkah harus deterministik, yakni tidak ada yang tertinggal untuk ditebak. Hasil akhir tidak bergantung kepada siapa yang menjalankan algoritma itu.
2. Prosesnya harus selalu berakhir setelah sejumlah berhingga langkah. Suatu logaritma tidak boleh berakhir terbuka *open ended*.
3. Algoritma harus cukup umum untuk menangani keperluan anda (Chapra, 1996:27).

2.5.2 MATLAB 7.0



Gambar 2.6 Tampilan MATLAB
(sumber: www.mathwork.com)

Nama MATLAB merupakan akronim dari kata *Matrix Laboratory*. Versi pertama MATLAB ditulis pada tahun 1970. Saat itu, MATLAB digunakan untuk pelatihan dalam teori matrik, aljabar linier dan analisis numerik. Pada tahun

sebelumnya, MATLAB telah direvisi. Fungsi-fungsi MATLAB yang digunakan untuk menyelesaikan masalah bagian khusus, yang disebut *toolboxes*. *Toolboxes* dapat digunakan untuk bidang pengolahan sinyal, sistem pengaturan, *fuzzy logic*, *numerical network*, optimasi, pengolahan citra, dan simulasi yang lain (Ramza, 2007:1).

Dikatakan bahwa MATLAB adalah bahasa komputasi tingkat tinggi karena struktur bahasa pemrograman MATLAB sangat ringkas dan lebih mudah untuk dipahami dibandingkan dengan bahasa mesin (seperti bahasa Assembly) dan bahasa tingkat menengah (seperti bahasa C, C++, Java, FORTRAN). Penggunaan MATLAB sangat luas, MATLAB dapat digunakan untuk *signal and image processing*, teknik komunikasi, *control design*, uji coba pengukuran, *financial modelling and analysis*, dan lain sebagainya. Selain itu MATLAB juga bisa diintegrasikan (digabungkan) dengan bahasa pemrograman lain seperti C, C++, Java, FORTRAN, COM, dan Microsoft Excel.

Terdapat lima bagian utama dalam MATLAB, yaitu:

1. *Dekstop Tools and Development Environment*

Adalah bagian yang akan kita lihat ketika membuka jendela MATLAB, yang terdiri dari layar kerja (*workspace*), *command window* tempat untuk menuliskan perintah pada MATLAB, jendela editor, *code analyzer*, *browser help*, dan lain sebagainya.

2. *Mathematical Function Library*

MATLAB telah menyediakan pustaka fungsi-fungsi matematik yang banyak dan fungsi-fungsi dasar hingga ke fungsi-fungsi seperti sinus, cosinus, invers matriks, perkalian matriks, fungsi Bessel, *fast fourier transform* dan lain sebagainya.

3. *The Language*

Dari sisi bahasa (*language*), MATLAB merupakan bahasa tingkat tinggi untuk mengolah matriks, kontrol aliran program, fungsi, input-output, dan program berorientasi objek. Bahkan dengan MATLAB kita dapat membuat program dengan ukuran yang besar.

4. *Graphics*

Dengan kemampuan grafis MATLAB yang sangat baik, kita dapat membuat plot 2-dimensi, 3-dimensi, plot kontur, animasi, mengolah gambar dan mengolah video, dan lain sebagainya.

5. *External Interface*

Tampilan eksternal dapat menautkan program atau pustaka lain yang berbahasa pemrograman C/C++, Java dan FORTRAN dengan MATLAB sebagai mesin komputasi utamanya. (Stefandi, 2014:3)

Berikut beberapa menu tampilan yang dimiliki Software MATLAB yaitu

1. *Command Window*

Command window adalah tampilan utama dari MATLAB dan terbuka saat MATLAB mulai dijalankan. *Command window* dapat digunakan untuk mengeksekusi perintah (*commands*), membuka tampilan yang lain, menjalankan program yang telah ditulis oleh pemrogram (*user*) dan mengatur MATLAB. Cara menuliskan ekspresi MATLAB pada command window yaitu sebelum menulis ekspresi harus didahului dengan tanda *prompt* (*>>*). Pada software MATLAB versi baru tanda *prompt* secara otomatis akan muncul.

2. *MATLAB Editor (M-File)*

Ketika semua *commands* telah diketik pada *command window* dan dieksekusi maka hanya perintah terakhir yang akan dijalankan. Sehingga untuk perintah - perintah kompleks (lebih dari satu perintah) akan sulit untuk dijalankan. Untuk menjalankan jenis perintah tersebut dapat menggunakan MATLAB editor. MATLAB editor hanya disediakan pada MATLAB versi 5 keatas. MATLAB editor secara spesifik berfungsi sebagai editor *script* (perintah-perintah seperti fungsi, luas, volume, dll). Untuk menampilkan MATLAB editor yaitu sebagai berikut:

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

3. *Figure Window*

Figure Window akan terbuka secara otomatis ketika perintah (*command*) untuk menampilkan grafik dieksekusi. Figure Window akan menunjukkan hasil visualisasi dari *script* MATLAB dalam bentuk grafik (dua dimensi atau tiga dimensi).

4. *Help Window*

Help Window berisi berbagai informasi yang berkaitan dengan MATLAB. Salah satu contoh informasi yaitu petunjuk bagi pengguna dalam mengoperasikan perintah-perintah yang akan dituliskan dalam MATLAB. Misalnya, ingin menuliskan fungsi logaritma, maka pada command window cukup menuliskan `>> help in` dan akan terbuka tampilan Help Window yang berisi cara-cara menuliskan fungsi logaritma.

2.5.3 Metode Gauss Seidel

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

$$AX = B \quad (2.2)$$

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

$$QX = (Q - A)X + B \quad (2.3)$$

selanjutnya dapat dituliskan dalam bentuk iterasi ke- k :

$$QX^{(k)} = (Q - A)X^{(k-1)} + B, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.4)$$

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

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

$$\begin{aligned}
\frac{1}{\omega}DX^{(k)} &= -LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1 \right) D - U \right) X^{(k-1)} + B \\
\omega D^{-1} \left(\frac{1}{\omega}DX^{(k)} \right) &= \omega D^{-1} \left[-LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1 \right) D - U \right) X^{(k-1)} + B \right] \\
X^{(k)} &= \omega D^{-1} \left[-LX^{(k)} + \left(\frac{1}{\omega}D - D - U \right) X^{(k-1)} + B \right] \\
X^{(k)} &= -\omega D^{-1}LX^{(k)} + (1 - \omega - \omega D^{-1}U) X^{(k-1)} + \omega D^{-1}B \\
X^{(k)} &= (1 - \omega)X^{(k-1)} - \omega D^{-1}LX^{(k)} - \omega D^{-1}UX^{(k-1)} + \omega D^{-1}B \\
X^{(k)} &= (1 - \omega)X^{(k-1)} - \omega D^{-1} (LX^{(k)} + UX^{(k-1)} - B) \quad (2.5)
\end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned}
a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\
a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\
a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + \dots + a_{3n}x_n &= b_3 \\
&\vdots \\
a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + a_{n3}x_3 + \dots + a_{nn}x_n &= b_n
\end{aligned} \quad (2.6)$$

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

$$\begin{aligned}
x_1 &= \frac{1}{a_{11}}(b_1 - a_{12}x_2 - a_{13}x_3 - \dots - a_{1n}x_n) \\
x_2 &= \frac{1}{a_{22}}(b_2 - a_{21}x_1 - a_{23}x_3 - \dots - a_{2n}x_n) \\
x_3 &= \frac{1}{a_{33}}(b_3 - a_{31}x_1 - a_{32}x_2 - \dots - a_{3n}x_n) \\
&\vdots \\
x_n &= \frac{1}{a_{nn}}(b_n - a_{n1}x_1 - a_{n2}x_2 - \dots - a_{nn-1}x_{n-1})
\end{aligned} \quad (2.7)$$

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

$$\begin{aligned}
 x_1^1 &= \frac{1}{a_{11}}(b_1 - a_{12}x_2^0 - a_{13}x_3^0 - \dots - a_{1n}x_n^0) \\
 x_2^1 &= \frac{1}{a_{22}}(b_2 - a_{21}x_1^1 - a_{23}x_3^0 - \dots - a_{2n}x_n^0) \\
 x_3^1 &= \frac{1}{a_{33}}(b_3 - a_{31}x_1^1 - a_{32}x_2^1 - \dots - a_{3n}x_n^0) \\
 &\vdots \\
 x_n^1 &= \frac{1}{a_{nn}}(b_n - a_{n1}x_1^1 - a_{n2}x_2^1 - \dots - a_{nn-1}x_{n-1}^1)
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

- o iterasi ke-2

$$\begin{aligned}
 x_1^2 &= \frac{1}{a_{11}}(b_1 - a_{12}x_2^1 - a_{13}x_3^1 - \dots - a_{1n}x_n^1) \\
 x_2^2 &= \frac{1}{a_{22}}(b_2 - a_{21}x_1^2 - a_{23}x_3^1 - \dots - a_{2n}x_n^1) \\
 x_3^2 &= \frac{1}{a_{33}}(b_3 - a_{31}x_1^2 - a_{32}x_2^2 - \dots - a_{3n}x_n^1) \\
 &\vdots \\
 x_n^2 &= \frac{1}{a_{nn}}(b_n - a_{n1}x_1^2 - a_{n2}x_2^2 - \dots - a_{nn-1}x_{n-1}^2)
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

- o dan seterusnya sampai langkah k .

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

$$x_i^k = \frac{1}{a_{ii}} \left(b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij}x_j^k - \sum_{j=i+1}^n a_{ij}x_j^{k-1} \right) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \tag{2.10}$$

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

$$x_i^k = (1 - \omega)x_i^{k-1} + \frac{\omega}{a_{ii}} \left(b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij}x_j^k - \sum_{j=i+1}^n a_{ij}x_j^{k-1} \right) \tag{2.11}$$

(Anton, 1987:359).

Pada Persamaan (2.5) dan Persamaan (2.11), untuk $\omega = 1$ akan diperoleh metode Gauss-Seidel. Metode Gauss-Seidel inilah yang digunakan untuk menyelesaikan sistem persamaan linier yang muncul dalam penyelesaian numerik dari persamaan diferensial parsial tertentu.

2.5.4 Galat atau *Error*

Ketika bekerja dalam komputasi numerik terdapat beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan salah satunya adalah keakuratan hasil yang diperoleh. Hal ini dikarenakan penyelesaian yang diperoleh melalui komputasi numerik masih memuat beberapa galat. Galat atau biasa disebut error dalam metode numerik adalah selisih yang ditimbulkan antara nilai eksak (nilai sejati) dengan nilai yang dihasilkan dengan metode numerik yang disebut dengan nilai hampiran (nilai aproksimasi). Dalam metode numerik, hasil yang diperoleh bukanlah hasil yang sama persis dengan nilai sejatinya. Akan selalu ada selisih, karena hasil yang didapat dengan metode numerik merupakan hasil yang diperoleh dengan proses iterasi (*looping*) untuk menghampiri nilai sebenarnya. Walaupun demikian bukan berarti hasil yang didapat dengan metode numerik salah, karena galat tersebut dapat ditekan sekecil mungkin sehingga hasil yang didapat sangat mendekati nilai sebenarnya atau bisa dikatakan galatnya mendekati nol.

Secara umum terdapat dua sumber utama penyebab galat dalam perhitungan numerik:

1. Galat pemotongan (*truncation error*)

Galat pemotongan mengacu pada galat yang ditimbulkan akibat penggunaan hampiran sebagai pengganti formula eksak. Maksudnya, ekspresi matematik yang lebih kompleks "diganti" dengan formula yang lebih sederhana. Galat pemotongan yaitu galat yang ditimbulkan oleh pembatasan jumlah komputasi yang digunakan pada proses metode numerik. Banyak metode dalam metode numerik yang penurunan rumusnya menggunakan proses iterasi yang jumlahnya tak terhingga, sehingga untuk membatasi proses penghitungan, jumlah iterasi dibatasi sampai langkah ke- n . Hasil penghitungan sampai langkah ke- n akan menjadi hasil hampiran dan nilai penghitungan langkah n keatas akan menjadi galat pemotongan. Dalam hal ini galat pemotongan akan menjadi sangat kecil sekali jika nilai n di

perbesar. Konsekuensinya tentu saja jumlah proses penghitungannya akan semakin banyak.

2. Galat pembulatan (*round-off error*)

Galat pembulatan yaitu yaitu galat yang ditimbulkan oleh keterbatasan komputer dalam menyajikan bilangan real. Hampir semua proses penghitungan dalam metode numerik menggunakan bilangan real. Penyajian bilangan real yang panjangnya tak terhingga tidak bisa disajikan secara tepat. Sehingga terjadilah galat pembulatan.

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

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

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

2. Galat relatif (E_R) didefinisikan dengan:

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

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

$$P_R = 100E_R$$

3. Galat global

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

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

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

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

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

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

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

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

4. Galat dalam aproksimasi deret

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

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

Suku terakhir dalam deret di atas dikenal dengan sebutan suku sisa deret taylor yang didefinisikan sebagai berikut:

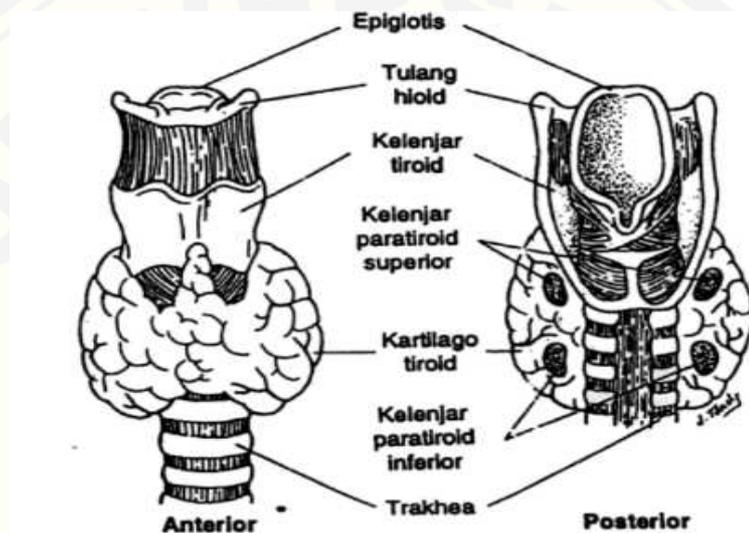
$$R_n(x) = \frac{(x - a)^n}{n!} f^n(a), \quad a < \alpha < x$$

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

2.6 Kelenjar Tiroid

Kelenjar tiroid terletak pada bagian depan, tepat dibawah kartilago krikoid, disamping kiri dan kanan trakhea. Pada orang dewasa beratnya lebih kurang 18

gram. Kelenjar ini terdiri atas dua lobus yaitu lobus kiri dan kanan yang dipisahkan oleh isthmus. Masing-masing lobus kelenjar ini mempunyai ketebalan lebih kurang 2 cm, lebar 2,5 cm dan panjangnya 4 cm. Tiap-tiap lobus mempunyai lobuli yang di masing-masing lobuli terdapat folikel dan parafolikuler. Di dalam folikel ini terdapat rongga yang berisi koloid dimana hormon-hormon disintesa. Kelenjar tiroid mendapat sirkulasi darah dan arteri tiroidea superior dan arteri tiroidea inferior. Arteri tiroidea superior merupakan percabangan dari arteri karotis eksternal dan arteri tiroidea inferior merupakan percabangan dari arteri subklavia (Rumahorbo, 1999:11).



Gambar 2.7 Kelenjar tiroid dilihat dari depan dan belakang (sumber: Fundamental of Nursing, Barbara, Erb, 1979)

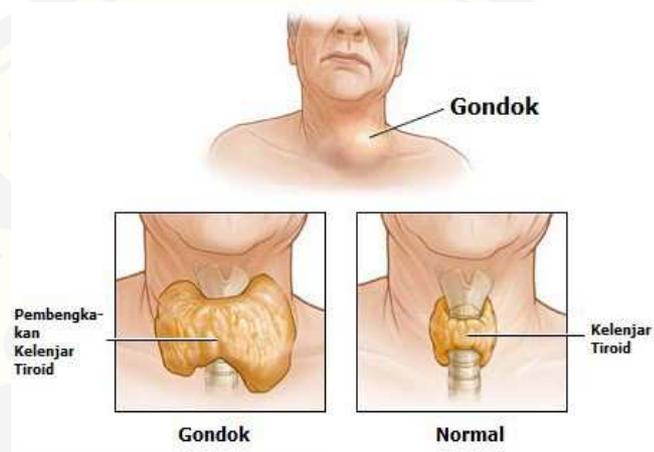
2.7 Penyakit Gondok

Gondok adalah pembesaran kelenjar tiroid. Gondok dapat terjadi apabila TSH atau LATS merangsang secara berlebihan kelenjar tiroid, karena tiroid terletak di atas trakea maka gondok mudah diraba dan biasanya terlihat.

Menurut Alioes (2010), perkembangan penyakit gondok dapat dikategorikan dalam beberapa kategori yaitu:

Tabel 2.2 Kategori Penyakit Gondok

Grade	Uraian
0(<i>Normal</i>)	Tidak terlihat maupun teraba gondok.
1	Gondok teraba tetapi tidak terlihat apabila leher dalam posisi normal (tiroid tidak terlihat membesar).
2	Pembesaran di leher yang jelas terlihat pada leher dalam posisi normal dan pada palpasi memang membesar (kelenjar tiroid dianggap membesar apabila besar tiap lobus lateral lebih dari volume falang ibu jari pasien yang diperiksa).



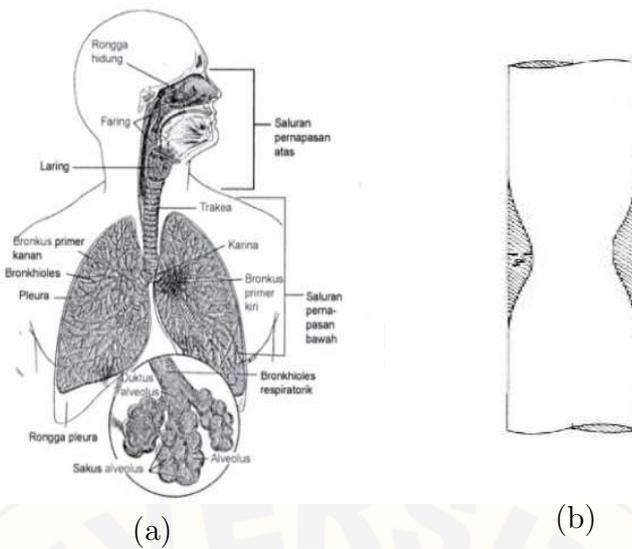
Gambar 2.8 Penyakit gondok

(sumber: <http://obatdarahtinggitradisional.com>)

2.8 Penyempitan Saluran Pernapasan

Struktur utama sistem pernapasan adalah saluran udara pernapasan terdiri dari jalan napas dan saluran napas, serta paru (parenkim paru). Yang disebut sebagai jalan napas adalah (1) nares, hidung bagian luar (external nose), (2) hidung bagian dalam (internal nose), (3) sinus paranasal, (4) faring, (5) laring. Sedangkan saluran napas adalah (1) trakea, (2) bronki dan bronkioli (Djojodibroto, 2009:6).

Tidak semua pembesaran yang terjadi pada tiroid berbahaya karena tidak otomatis meningkatkan produksi hormon. Yang perlu diperhatikan adalah pembesaran yang terjadi ke arah rongga dada karena dapat menekan saluran napas (*trachea*). Diasumsikan bahwa penyempitan terjadi pada daerah trakea secara simetris radial dimana pembengkakan yang terjadi pada kelenjar tiroid di bagian kanan dan di bagian kiri adalah sama.



Gambar 2.9 (a) Struktur sistem pernapasan (b) Struktur geometri penyempitan saluran

Hubungan penyempitan saluran dengan hukum fisika sebagai berikut :

$$D = \frac{\pi P r^4}{8 \eta l} \quad (2.12)$$

dimana :

D = debit

P = tekanan

r = jari-jari

η = kekentalan cairan

l = panjang saluran (Kusminarto, 2007)

2.9 Fluida

Fluida adalah zat yang terdeformasi secara continue karena dikenakan gaya atau tegangan geser. Proses *deformasi* secara *continue* tersebut disebut sebagai mengalir. Dengan demikian fluida dikatakan sebagai zat yang dapat mengalir (Muchammad, 2007).

Selain itu, menurut Victor L. Streeter dan E. Benjamin Wylie terjemahan Arko Prijono fluida merupakan zat yang berubah bentuk secara kontinu (terus menerus) jika memperoleh gaya. Sehingga dapat dikatakan bahwa fluida merupakan suatu zat bergerak dan berubah bentuk akibat adanya gaya yang bekerja pada zat tersebut. Gaya tersebut adalah tegangan geser, yaitu perbandingan antara besarnya gaya geser dengan luas permukaan. Dalam keadaan diam atau

dalam keadaan seimbang, fluida tidak mampu menahan gaya geser yang bekerja padanya. Hal itulah yang menyebabkan fluida berubah bentuk.

2.9.1 Jenis-Jenis Fluida

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

1. Gas



Gambar 2.10 Fluida gas
(sumber: www.kompas.com)

Gas merupakan salah satu bentuk dari fluida. Gas memiliki molekul- molekul yang dapat bergerak secara bebas dan bersifat memenuhi seluruh ruangan yang ditempatinya. Gas tidak memiliki permukaan bebas dan masanya selalu berkembang mengisi seluruh ruangan dan dapat dimampatkan. Salah satu contoh dari zat gas adalah asap.

2. Cair



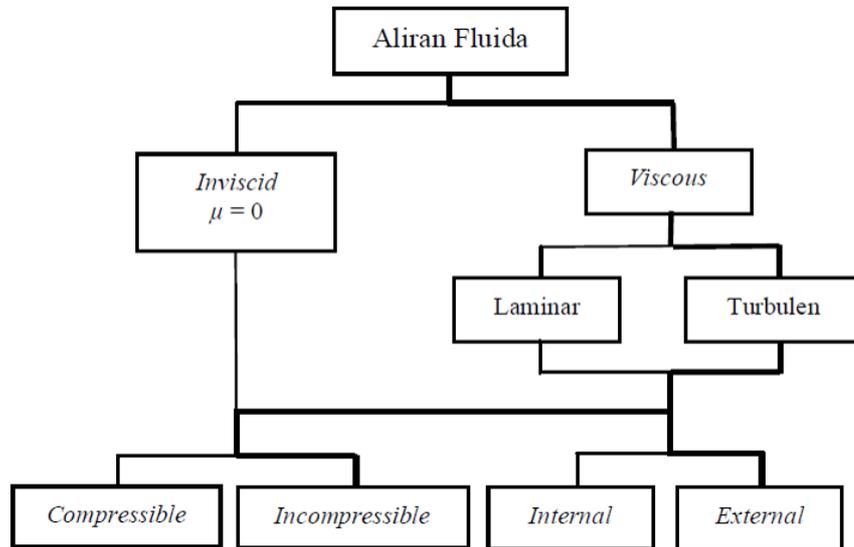
Gambar 2.11 Fluida cair
(sumber: www.kompasiana.com)

Sama halnya seperti gas, zat cair merupakan suatu zat yang bergerak dan berubah bentuk sesuai dengan tempat yang ditempatinya. Zat cair cenderung mempertahankan volumenya karena memiliki gaya kohesif yang relatif kuat dibanding zat gas dan akan membentuk permukaan bebas. Tidak

seperti zat gas, zat cair tidak dapat dimampatkan. Salah satu contoh dari zat cair adalah air.

2.9.2 Jenis-Jenis Aliran Fluida

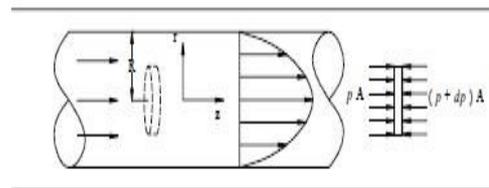
Aliran fluida dapat diklarifikasikan sebagai berikut:



Gambar 2.12 Klarifikasi aliran fluida

(sumber: Fox, Robert W., McDonald, Alan T. 1994. *Introduction to Fluid Mechanics*. New York: John Wiley & Sons)

o Aliran Laminar



Gambar 2.13 Distribusi kecepatan aliran laminar pada pipa tertutup

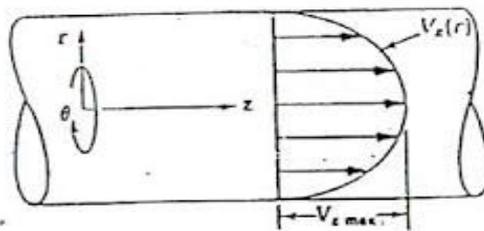
(sumber: <https://ryanhutamaputera.wordpress.com>)

Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan, atau laminalamina dengan satu lapisan meluncur secara merata. Dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk meredam kecenderungan-kecenderungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan. Sehingga aliran laminar memenuhi pasti hukum viskositas Newton, yaitu:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

o Aliran Turbulen

Aliran turbulen didefinisikan sebagai aliran yang dimana pergerakan partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami pencampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida kebagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi mengakibatkan tegangan geser yang merata diseluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian-kerugian aliran .



Gambar 2.14 Distribusi kecepatan aliran turbulen dalam pipa tertutup pada arah aksial

(sumber:www.gunadarma.com)

o Aliran *Compressible flow*

Aliran *compressible flow* merupakan aliran aliran yang mampu mampat, contohnya adalah udara, gas alam, dll.

o Aliran *Incompressible flow*

Aliran *incompressible flow* merupakan aliran aliran yang tidak mampu mampat, contohnya adalah air, berbagai jenis minyak, emulsi, dll (Indra, 2012).

o Aliran Internal

Aliran yang dibatasi oleh permukaan padat disebut aliran internal. Aliran internal meliputi aliran melalui pipa, saluran, *nosel*, *difuser*, *sudden contractions dan expansions*, *valve*, dan *fitting*.

o Aliran Eksternal

aliran eksternal adalah aliran yang mengalir pada suatu benda yang terbenam dalam suatu fluida yang tak terbatas. Dengan kata lain, fluida yang mengalir berada diluar permukaan benda-benda tersebut. Efek *viscous* pada aliran eksternal terbatas pada lapisan batas dan *wake* (Muchammad, 2007).

2.10 Monograf

Menurut Hasibuan dalam (Damayanti,2016) Monograf merupakan terbitan tunggal yang selesai dalam satu jilid dan tidak berkelanjutan. Berdasarkan ilmu perpustakaan, definisi monograf adalah terbitan dan bukan terbitan berseri yang lengkap dalam satu volume atau sejumlah volume yang sudah ditentukan sebelumnya. Adapun ciri-ciri monograf, yaitu:

- o isinya membahas suatu permasalahan pokok. Akan tetapi, walaupun terdiri dari beberapa makalah (misalnya dalam prosiding seminar), maka makalah yang ada pada prosiding tersebut memiliki satu tema pokok dari seminar tersebut
- o mempunyai halaman judul
- o terdapat daftar isi dan kata pengantar
- o terdiri dari beberapa bab, seperti bab pendahuluan
- o berjilid
- o terbit dalam satu jilid atau beberapa volume dengan bentuk jilid yang sama
- o umumnya memiliki ISBN (*International Standard book Number*)

BAB 3. METODE PENELITIAN

Dalam bagian ini akan dipaparkan metode penelitian yang dilakukan penulis. Bagian ini mencakup desain penelitian yang berupa jenis penelitian, tempat penelitian, definisi operasional, prosedur penelitian, metode pengumpulan data, dan analisis data.

3.1 Jenis Penelitian

Berdasarkan jenisnya, penelitian ini merupakan jenis penelitian murni. Dalam penelitian murni (*pure research*) para peneliti dituntun oleh tujuan untuk menghasilkan pengetahuan. Penelitian jenis ini tertarik untuk menguji atau menghasilkan teori demi ilmu itu sendiri dan untuk mengembangkan pengetahuan dalam sebuah area. Hasil dari penelitian murni adalah pengetahuan umum dan pengertian-pengertian tentang alam serta hukum-hukumnya. Pada penelitian ini, peneliti memodelkan aliran udara pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok yang dipengaruhi oleh ukuran jari-jari saluran pernapasan yang mengalami penyempitan akibat penyakit gondok dan kecepatan awal aliran sehingga diperoleh hasil atau data-data yang mendekati keadaan sebenarnya.

3.2 Tempat Penelitian

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

3.3 Prosedur Penelitian

Di dalam penelitian dibutuhkan langkah-langkah (prosedur penelitian) yang merupakan serangkaian kegiatan yang dilakukan sampai diperoleh suatu hasil atau

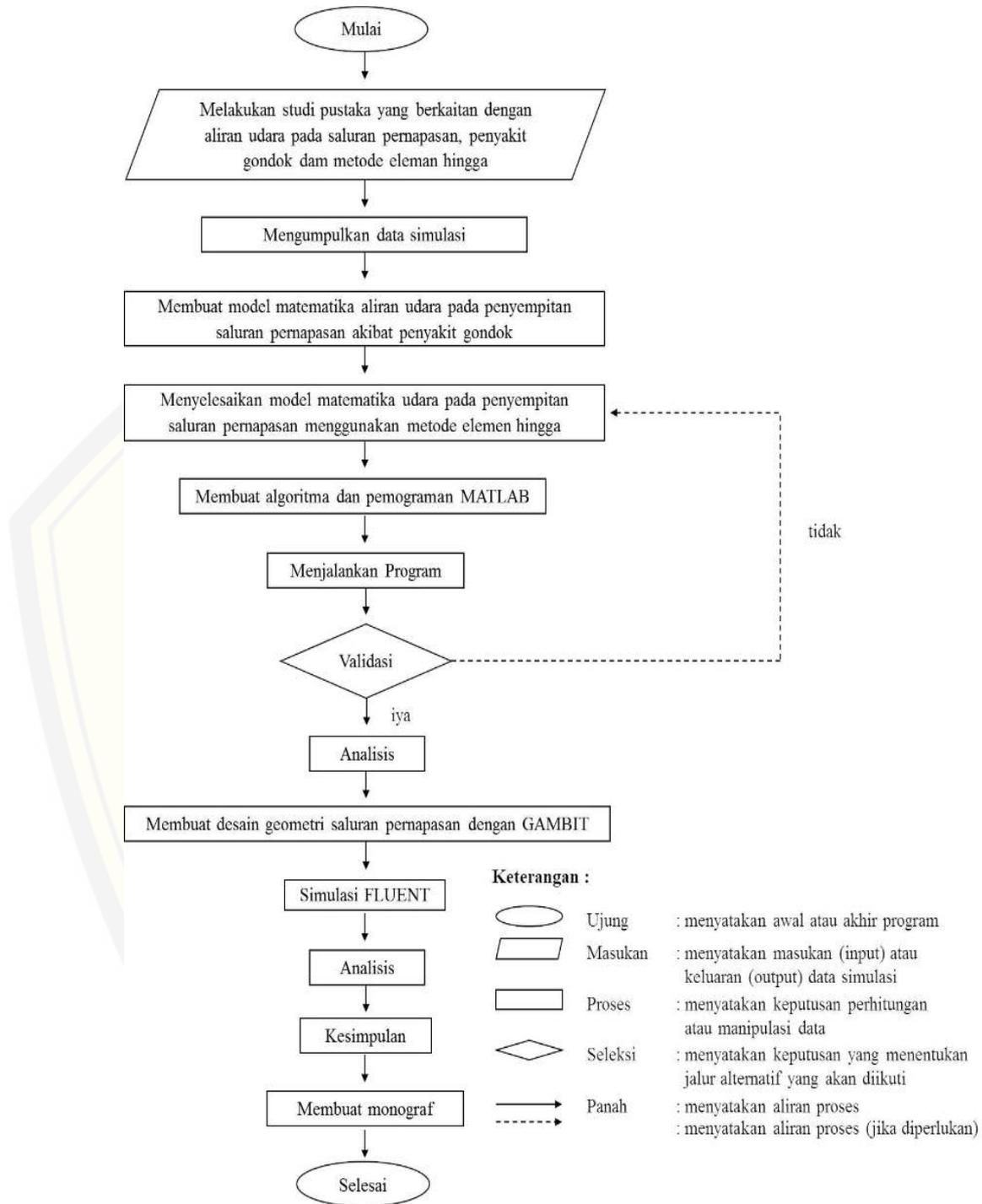
data-data yang akan dianalisis hingga mencapai suatu kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian.

Rancangan penelitian dijadikan dasar langkah-langkah dalam penelitian. Langkah-langkah dari dan sampai diperolehnya data-data agar bisa dikaji sampai menghasilkan suatu kesimpulan.

Adapun prosedur yang dilakukan pada penelitian ini yaitu:

1. melakukan studi pustaka tentang materi-materi yang berkaitan dengan aliran udara pada saluran pernapasan, penyakit gondok dan metode elemen hingga
2. mengumpulkan data, data yang dipakai pada penelitian ini merupakan data simulasi
3. membuat model matematika aliran udara pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok yang dipengaruhi oleh ukuran jari-jari saluran pernapasan dan kecepatan awal aliran menggunakan metode elemen hingga dengan pendekatan kuadratik
4. menyelesaikan model matematika aliran udara pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok
5. membuat algoritma dan pemograman MATLAB
6. menjalankan program
7. menganalisis algoritma dan keadaan aliran udara pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok
8. membuat bentuk geometri dan menentukan kondisi batas aliran udara pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok menggunakan GAMBIT
9. simulasi menggunakan FLUENT
10. menganalisis hasil dari penyimulasian model dengan FLUENT
11. memberikan kesimpulan dan hasil.
12. membuat monograf

Secara umum, langkah-langkah penelitian dapat disajikan dalam sebuah diagram alir (*flowchart*).



Gambar 3.1 Diagram alir prosedur penelitian

3.4 Definisi Operasional

Untuk menghindari salah penafsiran, maka peneliti mendefinisikan beberapa istilah yang perlu untuk dipahami, yaitu:

1. Pemodelan matematika (*mathematica modelling*) adalah penurunan suatu studi tentang konsep dan operasi matematika dalam konteks dunia real dan pembentukan model-model dalam menggali dan memahami situasi masalah kompleks yang sesungguhnya. Representasi matematika yang dihasilkan dari proses ini dikenal sebagai model matematika.
2. CFD (*Computational Fluid Dynamic*) dapat diartikan sebagai suatu teknologi komputasi yang digunakan untuk mempelajari dan alat untuk menganalisa fenomena dinamika fluida seperti aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, aliran multifasa, interaksi fluida dengan struktur dan sistem akustik, interaksi fluida dan solid.
3. FLUENT adalah salah satu jenis program CFD yang menyediakan fleksibilitas mesh yang lengkap sehingga dapat diselesaikan dengan lebih mudah.
4. GAMBIT (*Geometry and Mesh Building Intelligent Toolkit*) merupakan salah satu *preprocessor* yang didesain untuk membantu membuat model dan melakukan diskritisasi (*meshing*) pada model untuk analisis CFD.
5. MATLAB (*Matrix Laboratory*) merupakan software yang digunakan untuk analisis dan komputasi data numerik. Bahasa pemrograman yang digunakan merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi berbasis pada matriks.
6. Metode elemen hingga adalah metode numerik untuk penyelesaian masalah teknik dan fisika matematis, yang meliputi permasalahan analisis struktur, transfer panas, aliran fluida dan perpindahan massa. menyelesaikan kasus aliran fluida dengan cara yang lebih mudah.
7. Monograf merupakan terbitan tunggal yang selesai dalam satu jilid dan tidak berkelanjutan.

3.5 Metode Pengumpulan Data

Kegiatan mengumpulkan data bertujuan untuk memperoleh data atau informasi yang dibutuhkan dalam mencapai tujuan penelitian. Metode pengumpulan data

meliputi pengamatan (observasi), wawancara, angket (kuesioner), ujian atau tes dan dokumentasi.

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan metode dokumentasi dalam pengumpulan data. Menurut Arikunto (dalam Rahman, 2014) menjelaskan bahwa metode dokumentasi yaitu metode pengumpulan data yang berupa hal-hal atau variabel yang terdiri dari catatan, transkrip, buku, surat kabar, majalah, prasasti, notulen rapat, agenda dan sebagainya. Peneliti akan memperoleh data yang diinginkan dengan mempelajari buku, jurnal ilmiah serta berbagai data yang diambil dari catatan dan data-data dari internet. Data yang meliputi koefisien akan diperoleh dari data dan catatan internet, buku-buku fisika, buku-buku patologi, serta buku-buku mengenai kelenjar tiroid dan saluran pernapasan.

3.6 Data dan Analisis Data

Pengertian data menurut Webster New World Dictionari, Data adalah *things known or assumed*, yang berarti bahwa data itu sesuatu yang diketahui atau dianggap. Diketahui artinya yang sudah terjadi merupakan fakta (bukti). Data memberikan gambaran tentang suatu keadaan atau persoalan. Pada dasarnya kegunaan data (setelah diolah dan dianalisis) ialah sebagai dasar objektif di dalam proses pembuatan keputusan - keputusan/kebijaksanaan - kebijaksanaan dalam rangka untuk memecahkan persoalan oleh pengambil keputusan. Analisis data bertujuan untuk menyusun data dalam cara yang bermakna sehingga dapat dipahami. Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data simulasi.

Model matematika aliran udara pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok yang telah dibentuk dengan metode elemen hingga, kemudian mendiskritisasi menjadi beberapa elemen yang lebih sederhana. Dengan metode diskritisasi tersebut didapatkan matriks yang menyatakan persamaan yang akan diselesaikan secara numerik dengan menggunakan MATLAB sehingga didapatkan penyelesaian numerik yang konvergen. Penyelesaian ini mendekati penyelesaian eksak dari persamaan diferensialnya.

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

hingga didapat hasil yang benar. Batasan untuk error adalah 0,01. Error 0,01 telah dapat menggambarkan akurasi yang baik karena kesalahan tersebut hanya 1% sehingga menandakan kesalahan tersebut cukup kecil. Setelah melakukan simulasi model matematika aliran udara pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok, maka keakurasian model matematika aliran udara pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok dapatlah ditentukan dengan menggunakan error relatif yang terdapat pada metode Gauss-Seidel.

Model matematika yang dibentuk pada GAMBIT adalah saluran pernapasan yang mengalami penyempitan akibat penyakit gondok. Kemudian akan disimulasikan dengan FLUENT. Demikian dapat dilihat secara jelas bagaimana model matematika aliran udara pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok yang disajikan dalam output kontur gambar secara tiga dimensi.



BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan:

1. Model matematika penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok merupakan persamaan yang dinyatakan pada persamaan momentum. Berikut ini adalah persamaannya.

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial \rho v \phi_y}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho \frac{\partial g}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(2\mu \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right) \right) \quad (5.1)$$

dimana,

$$P = \frac{Q8\eta l}{\pi r^4} \quad (5.2)$$

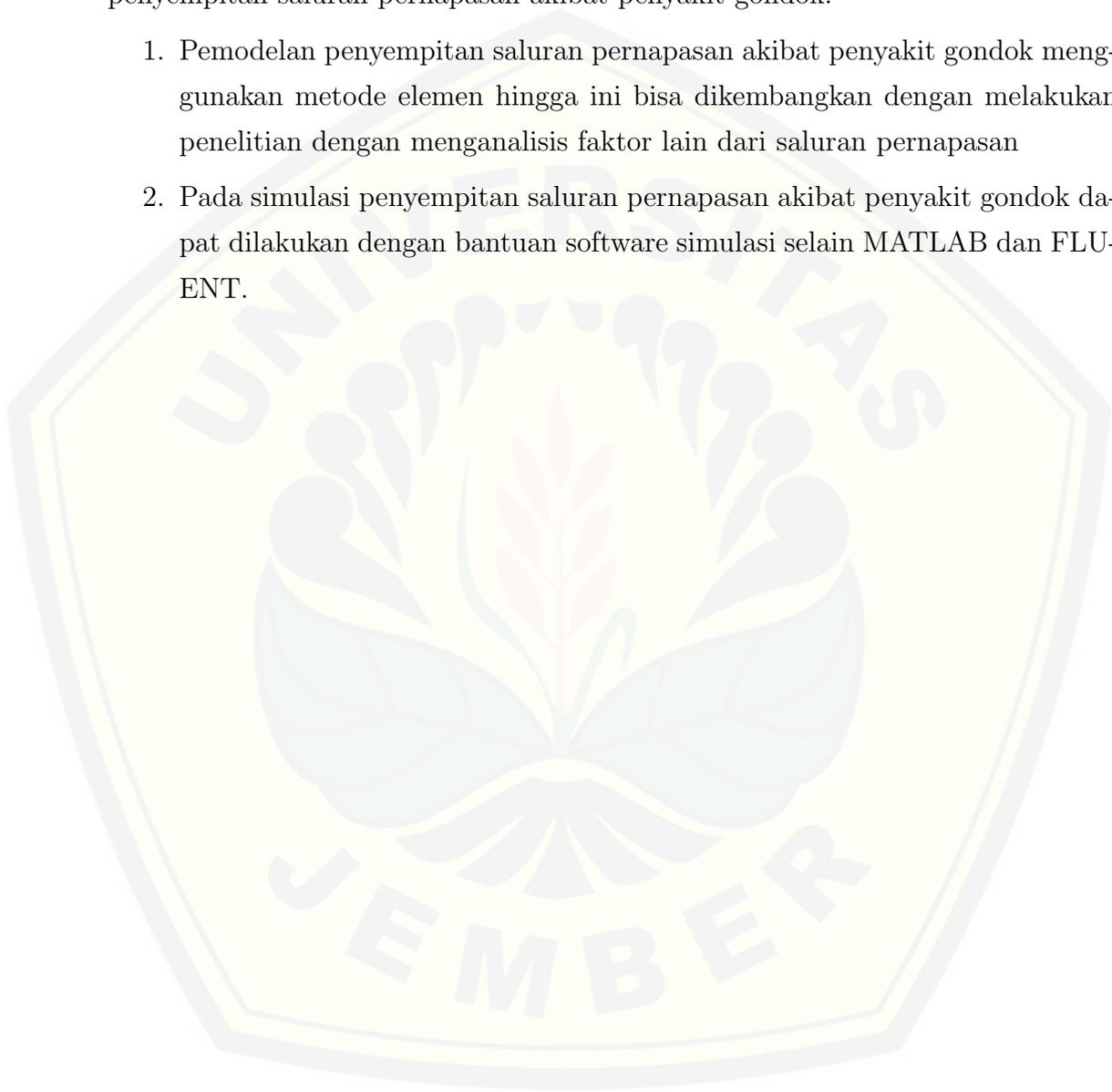
2. Pada hasil simulasi menggunakan MATLAB didapatkan bahwa dengan kecepatan awal 0.4 m/s pada saluran pernapasan normal jari-jari 0.025 m kecepatan aliran cenderung konstan yaitu 0.4010 m/s. Akan tetapi, ketika saluran pernapasan mengalami penyempitan, kecepatan alirannya meningkat ketika aliran mendekati daerah penyempitan yaitu pada jari-jari 0.020 m dan 0.015 m kecepatan berturut-turut menjadi 1.0060 m/s dan 3.2199 m/s.
3. Pada penyempitan saluran pernapasan, kecepatan awal juga mempengaruhi besarnya peningkatan kecepatan aliran. Semakin besar kecepatan awal yang diberikan, maka semakin besar pula kecepatan di daerah penyempitan. Pada simulasi menggunakan MATLAB didapatkan bahwa dengan jari-jari saluran 0.01631 m dan kecepatan awal 0.2 m/s, 0.4 m/s dan 0.6 m/s kecepatannya meningkat menjadi 1.0024 m/s, 2.2982 m/s dan 4.0929 m/s.
4. Persamaan penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok adalah model yang efektif dalam menyelesaikan pengaruh ukuran jari-jari saluran pernapasan dan kecepatan awal terhadap kecepatan aliran udara didapatkan

error relatif 0.005964 dan 0.002394 dengan tingkat toleransi kesalahan perhitungan 0.01.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis numerik aliran udara pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok:

1. Permodelan penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok menggunakan metode elemen hingga ini bisa dikembangkan dengan melakukan penelitian dengan menganalisis faktor lain dari saluran pernapasan
2. Pada simulasi penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok dapat dilakukan dengan bantuan software simulasi selain MATLAB dan FLU-ENT.



DAFTAR PUSTAKA

- Alioes, Yustini. (Juli-Desember, 2010) *Hubungan Penyakit Gondok dengan Kadar Yodium dalam Urin Murid Madrasah Ibtidaiyah Negeri (MIN) Korong Gadang Kecamatan Kuranji Kota Padang*. Majalah Kedokteran Andalas, No.2, Vol.34, hal 184-192
- Anton, Howard. 1987. *Aljabar Linier Elementer*. Jakarta: Erlangga
- Chaojin, Zhizhu He, dan Jing Liu. (Februari, 2014) *MRI-based Finite Element Simulation on Radio Frequency Ablation of Thyroid Cancer*. Elsevier Inc.: Computer Methods and Programs in Biomedicine, Vol. 113, hal 529-538
- Chapra, Steven C. dan Raymond P. Canale. 1996. *Metode Numerik*. Jakarta: Erlangga
- Djojodibroto, Darmanto. 2009. *Respirologi (Respiratory Medicine)*. Jakarta: EGC
- Dolu, Anwar. (Mei, 2010). *Metode Elemen Hingga dengan MATLAB dan Aplikasi SAP 2000 untuk Analisis Struktur Cangkang*. SMARTek Jurnal, No. 2, Vol. 8, hal 153-168
- Fatahillah, Arif. (April, 2010). *Pemodelan dan Penyelesaian Numerik dari Permasalahan Korosi Besi yang Didasarkan pada Sifat Kimia Larutan*. KadikMa, No. 1, Vol. 2, hal 71-80
- Fatahillah, Dafik, EE Riastutik, Susanto. (Juni, 2014). *The Analysis of Air Circulation on Coffee Plantation Based on the Level of Plants Roughness and Diamond Ladder Graph Cropping Pattern using Finite Volume Method*. Unej, No. 9, Vol. 7, hal 28

- Fatahillah, Arif. 2011. *Buku Pegangan Mata Kuliah Mathematical Modelling Computational Fluid Dynamics*. Jember : FKIP
- Hardiyanti, Dafik, Arif. (Agustus, 2015). Analisis Kecepatan Aliran Hidrogen Peroksida (H₂O₂) pada Sterilisasi Saluran Akar Gigi Menggunakan Metode Numerik Volume Hingga. *KadikMa*, No. 2, Vol. 6, hal 13-26
- Indra, Ahmad., Ridwan, dan A. Nursyamsu. 2012. *Analisa Aliran Fluida dalam Pipa Spiral pada Variasi Pitch dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Unpublished
- Jack. 2006. *Metode Numerik*. Lampung: UNILA
- J. F. Lee dan J. W. Leonard. (Oktober, 1988) *A finite element model of wave-structure interactions in the time domain*. *Eng. Struct*, Vol.10, hal 229-238
- Kusminarto. 2007. *Fisika: Penerapannya dalam Bidang Medis*. Yogyakarta: UGM
- M. Droli, dkk. 2017. *Enriched finite elements for initial-value problem of transverse electromagnetic waves in time domain*. Elsevier Inc.: *Computers and Structures*, Vol.182, hal 354-367
- Muchammad. (Januari, 2007). *Simulasi Efek Turbo Cyclone Terhadap Karakteristik Aliran Udara pada Saluran Udara Sepeda Motor 4 Tak 100cc Menggunakan Computational Fluid Dynamics*. *Rotasi*, No. 1, Vol.9, hal 6-16
- Mulyadi, Santoso. (Desember, 2015). *Analisa Kegagalan Produk Cutting Disc Mesin Pemotong Krupuk Singkong Dengan Metode Elemen Hingga*. *ROTOR*, No. 2, Vol. 8.
- Pralhad and Schultz. (Mei, 2004). *Modeling of arterial stenosis and its applications to blood diseases*. Elsevier Inc.: *Mathematical Biosciences*, vol. 190,

hal 203-220

Qoriatul, Arif, Dafik, Nurcholif. (April, 2013). *Analisis Model Matematika Pertukaran Panas Pada Fluida di Heat Exchanger Tipe Shell And Tube Yang Digunakan di PT. Pupuk Kaltim Tbk..* KadikMa, No. 1, Vol. 4, hal 7-14

Rahman, Fadli M. (April, 2014). *Analisis Model Matematika Penyebaran Asap pada Kebakaran Rumah.* KadikMa, No. 1, Vol. 5, hal 59-68

Ramza, Harry dan Yohannes Dewanto. 2007. *Buku Petunjuk Praktikum Teknik Pemrograman Menggunakan MATLAB.* Jakarta: Grasindo

Rosa, Marcelo dan Jose Carlos. 2008. *Aerodynamic Study of Three-Dimensional Larynx Models Using Finite Element Methods.* Elsevier Inc.: Journal of Sound and Vibration, Vol. 311, hal 39-55

Rumahorbo, Hotma. 1999. *Asuhan Keperawatan Klien dengan Gangguan Sistem Endokrin.* Jakarta: EGC

Saidin, Sukati. 2009. *Hubungan Keadaan Geografi dan Lingkungan dengan Gangguan Akibat Kurang Yodium (GAKY).* Media Litbang Kesehatan, No. 2, Vol. 19, hal 101-108

Samosir, Ken Kevin dan Masykur. (Mei, 2014). *Perbandingan Metode Fast-Decouple dan Metode Gauss-Seidell dalam Solusi Aliran Daya Sistem Distribusi 20KV dengan Menggunakan Etap Power Station dan MATLAB.* Singguda Ensikom, No. 2, Vol. 7, hal 55-60

Stefandi, Andrias. 2014. *Kumpulan Proyek Fisika dengan Menggunakan MATLAB.* Jakarta: Fiveritas

Subekti, Ridwan Arief., dan Anjar Susatyo. (Oktober, 2009). *Perancangan Penstock Menggunakan Software Computational Fluid Dynamics.* Serpong: Pro-

siding Seminar Nasional Daur Bahan Bakar ISSN 1693-4687, hal 27-32

Sukarsono, R., Deni Swantomo, dan Miftah El Fauzi. (Juli, 2012). *Simulasi Aliran Fluida pada Proses Fluidisasi untuk Pelapisan Kernel HTR Berbasis CFD: Variasi Tinggi Frustrun dan Kecepatan Alir*. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah - Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir ISSN 0216 - 3128, hal 35-44.

Susanto, Tri Nugroho H. dan Sigit Pramana. (September, 2012). *Analisis Termohidrolis Tempat Penyimpanan Bahan Bakar Di Bulk Shielding Menggunakan CFD Fluent*. Prosiding Seminar Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir ISSN 1410 8178, hal 484-489

Tuakia, F. 2008. *Dasar-dasar CFD Menggunakan Fluent*. Bandung: Informatika

White, Frank M. 1998. *Mekanika Fluida*. Jakarta: Erlangga

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

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

MATRIKS PENELITIAN

JUDUL	PERMASALAHAN	VARIABEL	INDIKATOR	SUMDER DATA	METODE PENELITIAN
Analisis Numerik Aliran Udara pada Penyempitan Saluran Pernapasan Akibat Penyakit Gondok Menggunakan Metode Elemen Hingga Sebagai Monograf	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bagaimana model matematika penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok? 2. Bagaimana hasil analisis pengaruh jari-jari pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok terhadap kecepatan aliran udara? 3. Bagaimana hasil analisis pengaruh kecepatan awal pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok terhadap kecepatan aliran udara? 4. Bagaimana efektivitas metode elemen hingga dalam menganalisis masalah penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok? 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penyempitan saluran pernapasan 2. Penyakit gondok 3. Metode elemen hingga 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menentukan model matematika penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok 2. Untuk mengetahui hasil analisis pengaruh jari-jari pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok terhadap kecepatan aliran udara 3. Untuk mengetahui hasil analisis pengaruh kecepatan awal pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok terhadap kecepatan aliran udara 4. Untuk mengetahui efektivitas metode elemen hingga dalam menganalisis masalah aliran udara pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok. 	Kepustakaan	Murni

LAMPIRAN A. FORMAT *PROGRAMMING* MATLABA.1 Format *Programming* Simulasi Kecepatan Aliran Udara pada Penyempitan Saluran Pernapasan yang Dipengaruhi Oleh Ukuran Jari-Jari Saluran Pernapasan Menggunakan Metode Biasa

```

clear all;
clc;
disp('-----');
disp('          SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN UDARA          ');
disp(' PADA PENYEMPITAN SALURAN PERNAPASAN AKIBAT PENYAKIT GONDOK ');
disp('    dipengaruhi oleh ukuran jari-jari saluran pernapasan    ');
disp('          Menggunakan Metode Biasa          ');
disp('          Oleh :          ');
disp('          SITI AISYAH          ');
disp('          NIM 130210101077          ');
disp('-----');
%Persamaan momentum
N=input('masukkan banyak diskritisasi = ');
v=input('masukkan kecepatan awal = ');
if v<0
    msgbox('v tidak boleh kurang dari 0 ');
    return;
end
r1=0.015;          %jari-jari saluran pernapasan
r2=0.020;          %jari-jari saluran pernapasan
r3=0.025;          %jari-jari saluran pernapasan
rho=1.34;          %massa jenis oksigen
D=7.5;            %debit aliran
eta=1.725*10^-7;  %kekentalan zat
miu=0.15*10^-5;  %koefisien gesek
l=(N-1)*0.1;     %panjang benda
g=9.8;           %gaya gravitasi
P1=8*D*eta*l/(pi*r1^4); %tekanan

```

```

P2=8*D*eta*l/(pi*r2^4);      %tekanan
P3=8*D*eta*l/(pi*r3^4);      %tekanan
ng=2*N+1;
disp(['Banyaknya node global y:',num2str(ng)]);
t=input('masukkan waktu = ');
dt=1;

%Matriks
A1kcl=[(-4*miu/(3*l)-(3*rho*v/6)) (8*miu/(3*l)+(4*rho*v/6))
        (-4*miu/(3*l)-(rho*v/6))
        ((-16*miu/(3*l)-(4*rho*v/6)) (32*miu/3*l)
        ((-16*miu/(3*l)+(4*rho*v/6))
        ((-4*miu/(3*l)+(rho*v/6)) (8*miu/(3*l)-(4*rho*v/6))
        ((-4*miu/(3*l)+(3*rho*v/6))];
A1bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
for i=0:N-1;
    A1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=
    A1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+A1kcl;
end
B1kcl=[4*l*rho/30 2*l*rho/30 -1*l*rho/30
        (2*l*rho/30 16*l*rho/30 2*l*rho/30
        (-1*l*rho/30 2*l*rho/30 4*l*rho/30];
B1bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
for i=0:N-1
    B1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=
    B1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+B1kcl;
end
r1_old=zeros(2*N+1,1);
r1_old(1,1)=2*(P1-rho*g);
r1_old(2*N+1,1)=2*(-P1+rho*g);
r1_all=r1_old;
r2_old=zeros(2*N+1,1);
r2_old(1,1)=2*(P2-rho*g);

```

```
r2_old(2*N+1,1)=2*(-P2+rho*g);
r2_all=r2_old;
r3_old=zeros(2*N+1,1);
r3_old(1,1)=2*(P3-rho*g);
r3_old(2*N+1,1)=2*(-P3+rho*g);
r3_all=r3_old;

%D adalah matriks di ruas kiri
D=A1bsr+2/dt*B1bsr;
%E adalah matriks di ruas kanan
E=A1bsr-2/dt*B1bsr;
r1_new=D\r1_old;
r1_all=[r1_all r1_new];
r1_old=r1_new;
r2_new=D\r2_old;
r2_all=[r2_all r2_new];
r2_old=r2_new;
r3_new=D\r3_old;
r3_all=[r3_all r3_new];
r3_old=r3_new;
%Penyelesaian dalam waktu
for i=1:t
    r1_new=D\(-E*r1_old);
    r1_all=[r1_all r1_new];
    r1_old=r1_new;
    r2_new=D\(-E*r2_old);
    r2_all=[r2_all r2_new];
    r2_old=r2_new;
    r3_new=D\(-E*r3_old);
    r3_all=[r3_all r3_new];
    r3_old=r3_new;
end
```

```
figure;
plot(mean(r1_all),'-ob');
hold on;
plot(mean(r2_all),'-or');
hold on;
plot(mean(r3_all),'-og');
hold on;
title('Program Simulasi Aliran Udara Dipengaruhi Oleh Ukuran
Jari-Jari Saluran Pernapasan',...
      'color',[0 0 1],'fontweight','bold','fontsize',14);
xlabel('Panjang Saluran Pernapasan','color',[0 0 1],...
      'fontweight','bold','fontsize',12); ylabel('Kecepatan
Aliran Udara','color',[0 0 1],...
      'fontweight','bold','fontsize',12);
```

A.2 Format *Programming* Simulasi Kecepatan Aliran Udara pada Penyempitan Saluran Pernapasan yang Dipengaruhi Oleh Ukuran Jari-Jari Saluran Pernapasan Menggunakan Metode Gauss-Seidel

```

clear all;
clc;
disp('-----');
disp('          SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN UDARA          ');
disp(' PADA PENYEMPITAN SALURAN PERNAPASAN AKIBAT PENYAKIT GONDOK ');
disp('   dipengaruhi oleh ukuran jari-jari saluran pernapasan   ');
disp('          Menggunakan Metode Gauss-Seidel          ');
disp('                   Oleh :                   ');
disp('                   SITI AISYAH                   ');
disp('                   NIM 130210101077                   ');
disp('-----');
%Persamaan momentum
N=input('masukkan banyak diskritisasi = ');
v=input('masukkan kecepatan awal = ');
if v<0
    msgbox('v tidak boleh kurang dari 0 ');
    return;
end
r1=0.015;           %jari-jari saluran pernapasan
r2=0.020;           %jari-jari saluran pernapasan
r3=0.025;           %jari-jari saluran pernapasan
rho=1.34;           %massa jenis oksigen
D=7.5;              %debit aliran
eta=1.725*10^-7;    %kekentalan zat
miu=0.15*10^-5;     %koefisien gesek
l=(N-1)*0.1;        %panjang benda
g=9.8;              %gaya gravitasi
P1=8*D*eta*l/(pi*r1^4); %tekanan
P2=8*D*eta*l/(pi*r2^4); %tekanan
P3=8*D*eta*l/(pi*r3^4); %tekanan

```

```

ng=2*N+1;
disp(['Banyaknya node global y:',num2str(ng)]);
t=input('masukkan waktu = ');
dt=1;

%Matriks
A1kcl=[(-4*miu/(3*1)-(3*rho*v/6)) (8*miu/(3*1)+(4*rho*v/6))
        (-4*miu/(3*1)-(rho*v/6))
        ((-16*miu/(3*1)-(4*rho*v/6)) (32*miu/3*1)
        ((-16*miu/(3*1)+(4*rho*v/6))
        ((-4*miu/(3*1)+(rho*v/6)) (8*miu/(3*1)-(4*rho*v/6))
        ((-4*miu/(3*1)+(3*rho*v/6))]);
A1bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
for i=0:N-1;
    A1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=
    A1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+A1kcl;
end
B1kcl=[4*1*rho/30 2*1*rho/30 -1*1*rho/30
        (2*1*rho/30 16*1*rho/30 2*1*rho/30
        (-1*1*rho/30 2*1*rho/30 4*1*rho/30)];
B1bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
for i=0:N-1
    B1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=
    B1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+B1kcl;
end
r1_old=zeros(2*N+1,1);
r1_old(1,1)=2*(P1-rho*g);
r1_old(2*N+1,1)=2*(-P1+rho*g);
r1_all=r1_old;
rall1_plot=[];
r2_old=zeros(2*N+1,1);
r2_old(1,1)=2*(P2-rho*g);
r2_old(2*N+1,1)=2*(-P2+rho*g);

```

```
r2_all=r2_old;
rall2_plot=[];
r3_old=zeros(2*N+1,1);
r3_old(1,1)=2*(P3-rho*g);
r3_old(2*N+1,1)=2*(-P3+rho*g);
r3_all=r3_old;
rall3_plot=[];

%D adalah matriks di ruas kiri
D=A1bsr+2/dt*B1bsr;
%E adalah matriks di ruas kanan
E=A1bsr-2/dt*B1bsr;
r1_new=D\r1_old;
r1_all=[r1_all r1_new];
r1_old=r1_new;
r2_new=D\r2_old;
r2_all=[r2_all r2_new];
r2_old=r2_new;
r3_new=D\r3_old;
r3_all=[r3_all r3_new];
r3_old=r3_new;

%Penyelesaian dalam waktu
for i=1:t
    r1_new=D\(-E*r1_old);
    r1_all=[r1_all r1_new];
    r1_old=r1_new;
    rall1_plot=[];
    r2_new=D\(-E*r2_old);
    r2_all=[r2_all r2_new];
    r2_old=r2_new;
    rall2_plot=[];
    r3_new=D\(-E*r3_old);
```

```

    r3_all=[r3_all r3_new];
    r3_old=r3_new;
    rall3_plot=[];
end

%Gauss-Seidel
T=0.01;          %Toleransi
X0=zeros(2*N+1,1);
X0(1:2*N+1)=1.000;
H=X0';
w=length(1);
X1=X0;
X2=X0;
X3=X0;
for k=1:N
    for i=1:w
        S1=r1_old(i)-r1_new(i,1:i-1)*X1(1:i-1)-r1_new(i,i+1:w)*X0(i+1:w);
        X1(i)=S1/r1_new(i,i);
        S2=r2_old(i)-r2_new(i,1:i-1)*X2(1:i-1)-r1_new(i,i+1:w)*X0(i+1:w);
        X2(i)=S2/r2_new(i,i);
        S3=r3_old(i)-r3_new(i,1:i-1)*X3(1:i-1)-r3_new(i,i+1:w)*X0(i+1:w);
        X3(i)=S3/r3_new(i,i);
    end
    e=abs(X2-X0);
    error=norm(e);
    reller=error/(norm(X2)+eps);
    X0=X1;
    H=[H,X0'];
    if(error<T)|(reller<T)
        break
    end
end
disp(['besarnya error= ',num2str(error)]);

```

```
disp(['besarnya relatif error= ',num2str(realler)]);
H;
X2;
r1_all=[r1_all];
rall1_plot=[rall1_plot];
r2_all=[r2_all];
rall2_plot=[rall2_plot];
r3_all=[r3_all];
rall3_plot=[rall3_plot];

figure;
plot(mean(r1_all),'-ob');
hold on;
plot(mean(r2_all),'-or');
hold on;
plot(mean(r3_all),'-og');
hold on;
title('Program Simulasi Aliran Udara Dipengaruhi Oleh Ukuran Jari-Jari
      Saluran Pernapasan Menggunakan Metode Gauss Seidel',...
      'color',[0 0 1],'fontweight','bold','fontsize',14);
xlabel('Panjang Saluran Pernapasan','color',[0 0 1],...
      'fontweight','bold','fontsize',12);
ylabel('Kecepatan Aliran Udara','color',[0 0 1],...
      'fontweight','bold','fontsize',12);
disp('Gauss-Seidel method converged');
```

A.3 Format *Programming* Simulasi Kecepatan Aliran Udara pada Penyempitan Saluran Pernapasan yang Dipengaruhi Oleh Kecepatan Awal Menggunakan Metode Biasa

```

clear all;
clc;
disp('-----');
disp('          SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN UDARA          ');
disp(' PADA PENYEMPITAN SALURAN PERNAPASAN AKIBAT PENYAKIT GONDOK ');
disp('          dipengaruhi oleh kecepatan awal          ');
disp('          Menggunakan Metode Biasa          ');
disp('          Oleh :          ');
disp('          SITI AISYAH          ');
disp('          NIM 130210101077          ');
disp('-----');
%Persamaan momentum
N=input('masukkan banyak diskritisasi = ');
r=input('masukkan jari-jari saluran = ');
if r<0
    msgbox('r tidak boleh kurang dari 0 ');
    return;
end
v1=0.2;          %kecepatan awal
v2=0.4;          %kecepatan awal
v3=0.6;          %kecepatan awal
rho=1.34;        %massa jenis oksigen
D=7.5;          %debit aliran
eta=1.725*10^-7; %kekentalan zat
miu=0.15*10^-5; %koefisien gesek
l=(N-1)*0.1;    %panjang benda
g=9.8;          %gaya gravitasi
P=8*D*eta*l/(pi*r^4); %tekanan
ng=2*N+1;
disp(['Banyaknya node global y:',num2str(ng)]);

```

```

t=input('masukkan waktu = ');
dt=1;

\A1kcl=[(-4*miu/(3*1)-(3*rho*v1/6)) (8*miu/(3*1)+(4*rho*v1/6))
        (-4*miu/(3*1)-(rho*v1/6))
        (-16*miu/(3*1)-(4*rho*v1/6)) (32*miu/3*1)
        (-16*miu/(3*1)+(4*rho*v1/6))
        (-4*miu/(3*1)+(rho*v1/6)) (8*miu/(3*1)-(4*rho*v1/6))
        (-4*miu/(3*1)+(3*rho*v1/6))];
A2kcl=[(-4*miu/(3*1)-(3*rho*v2/6)) (8*miu/(3*1)+(4*rho*v2/6))
        (-4*miu/(3*1)-(rho*v2/6))
        (-16*miu/(3*1)-(4*rho*v2/6)) (32*miu/3*1)
        (-16*miu/(3*1)+(4*rho*v2/6))
        (-4*miu/(3*1)+(rho*v2/6)) (8*miu/(3*1)-(4*rho*v2/6))
        (-4*miu/(3*1)+(3*rho*v2/6))];
A3kcl=[(-4*miu/(3*1)-(3*rho*v3/6)) (8*miu/(3*1)+(4*rho*v3/6))
        (-4*miu/(3*1)-(rho*v3/6))
        (-16*miu/(3*1)-(4*rho*v3/6)) (32*miu/3*1)
        (-16*miu/(3*1)+(4*rho*v3/6))
        (-4*miu/(3*1)+(rho*v3/6)) (8*miu/(3*1)-(4*rho*v3/6))
        (-4*miu/(3*1)+(3*rho*v3/6))];
A1bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
A2bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
A3bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
for i=0:N-1
    A1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=
        A1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+A1kcl;
    A2bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=
        A2bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+A2kcl;
    A3bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=
        A3bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+A3kcl;
end

```

```

B1kcl=[4*1*rho/30 2*1*rho/30 -1*1*rho/30
        2*1*rho/30 16*1*rho/30 2*1*rho/30
        -1*1*rho/30 2*1*rho/30 4*1*rho/30];
B1bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
for i=0:N-1;
    B1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=
        B1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+B1kcl;
end
r1_old=zeros(2*N+1,1);
r1_old(1,1)=2*(P-rho*g);
r1_old(2*N+1,1)=2*(-P+rho*g);
r1_all=r1_old;
r2_old=zeros(2*N+1,1);
r2_old(1,1)=2*(P-rho*g);
r2_old(2*N+1,1)=2*(-P+rho*g);
r2_all=r2_old;
r3_old=zeros(2*N+1,1);
r3_old(1,1)=2*(P-rho*g);
r3_old(2*N+1,1)=2*(-P+rho*g);
r3_all=r3_old;

%D adalah matriks di ruas kiri
D1=A1bsr+2/dt*B1bsr;
D2=A2bsr+2/dt*B1bsr;
D3=A3bsr+2/dt*B1bsr;
%E adalah matriks di ruas kanan
E1=A1bsr-2/dt*B1bsr;
E2=A2bsr-2/dt*B1bsr;
E3=A3bsr-2/dt*B1bsr;
r1_new=D1\r1_old;
r1_all=[r1_all r1_new];
r1_old=r1_new;
r2_new=D2\r2_old;

```

```
r2_all=[r2_all r2_new];
r2_old=r2_new;
r3_new=D3\r3_old;
r3_all=[r3_all r3_new];
r3_old=r3_new;

%Penyelesaian dalam waktu
for i=1:t
    r1_new=D1\(-E1*r1_old);
    r1_all=[r1_all r1_new];
    r1_old=r1_new;
    r2_new=D2\(-E2*r2_old);
    r2_all=[r2_all r2_new];
    r2_old=r2_new;
    r3_new=D3\(-E3*r3_old);
    r3_all=[r3_all r3_new];
    r3_old=r3_new;
end

figure;
plot(mean(r1_all),'-ob');
hold on;
plot(mean(r2_all),'-or');
hold on;
plot(mean(r3_all),'-og');
hold on;
title('Program Simulasi Aliran Udara Dipengaruhi oleh Kecepatan Awal',...
    'color',[0 0 1],'fontweight','bold','fontsize',14);
xlabel('Panjang Saluran Pernapasan','color',[0 0 1],...
    'fontweight','bold','fontsize',12);
ylabel('Kecepatan Aliran Udara','color',[0 0 1],...
    'fontweight','bold','fontsize',12);
```

A.4 Format *Programming* Simulasi Kecepatan Aliran Udara pada Penyempitan Saluran Pernapasan yang Dipengaruhi Oleh Kecepatan Awal Menggunakan Metode Gauss-Seidel

```

clear all;
clc;
disp('-----');
disp('          SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN UDARA          ');
disp(' PADA PENYEMPITAN SALURAN PERNAPASAN AKIBAT PENYAKIT GONDOK ');
disp('          dipengaruhi oleh kecepatan awal          ');
disp('          Menggunakan Metode Gauss-Seidel          ');
disp('          Oleh :          ');
disp('          SITI AISYAH          ');
disp('          NIM 130210101077          ');
disp('-----');
%Persamaan momentum
N=input('masukkan banyak diskritisasi = ');
r=input('masukkan jari-jari saluran = ');
if r<0
    msgbox('r tidak boleh kurang dari 0 ');
    return;
end
v1=0.2;          %kecepatan awal
v2=0.4;          %kecepatan awal
v3=0.6;          %kecepatan awal
rho=1.34;        %massa jenis oksigen
D=7.5;          %debit aliran
eta=1.725*10^-7; %kekentalan zat
miu=0.15*10^-5; %koefisien gesek
l=(N-1)*0.1;    %panjang benda
g=9.8;          %gaya gravitasi
P=8*D*eta*l/(pi*r^4); %tekanan
ng=2*N+1;
disp(['Banyaknya node global y:',num2str(ng)]);

```

```

t=input('masukkan waktu = ');
dt=1;

\A1kcl=[(-4*miu/(3*1)-(3*rho*v1/6)) (8*miu/(3*1)+(4*rho*v1/6))
        (-4*miu/(3*1)-(rho*v1/6))
        (-16*miu/(3*1)-(4*rho*v1/6)) (32*miu/3*1)
        (-16*miu/(3*1)+(4*rho*v1/6))
        (-4*miu/(3*1)+(rho*v1/6)) (8*miu/(3*1)-(4*rho*v1/6))
        (-4*miu/(3*1)+(3*rho*v1/6))];
A2kcl=[(-4*miu/(3*1)-(3*rho*v2/6)) (8*miu/(3*1)+(4*rho*v2/6))
        (-4*miu/(3*1)-(rho*v2/6))
        (-16*miu/(3*1)-(4*rho*v2/6)) (32*miu/3*1)
        (-16*miu/(3*1)+(4*rho*v2/6))
        (-4*miu/(3*1)+(rho*v2/6)) (8*miu/(3*1)-(4*rho*v2/6))
        (-4*miu/(3*1)+(3*rho*v2/6))];
A3kcl=[(-4*miu/(3*1)-(3*rho*v3/6)) (8*miu/(3*1)+(4*rho*v3/6))
        (-4*miu/(3*1)-(rho*v3/6))
        (-16*miu/(3*1)-(4*rho*v3/6)) (32*miu/3*1)
        (-16*miu/(3*1)+(4*rho*v3/6))
        (-4*miu/(3*1)+(rho*v3/6)) (8*miu/(3*1)-(4*rho*v3/6))
        (-4*miu/(3*1)+(3*rho*v3/6))];
A1bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
A2bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
A3bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
for i=0:N-1
    A1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=
        A1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+A1kcl;
    A2bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=
        A2bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+A2kcl;
    A3bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=
        A3bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+A3kcl;
end
B1kcl=[4*1*rho/30 2*1*rho/30 -1*1*rho/30

```

```

        2*1*rho/30 16*1*rho/30 2*1*rho/30
        -1*1*rho/30 2*1*rho/30 4*1*rho/30];
B1bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
for i=0:N-1;
    B1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=
        B1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+B1kcl;
end
r1_old=zeros(2*N+1,1);
r1_old(1,1)=2*(P-rho*g);
r1_old(2*N+1,1)=2*(-P+rho*g);
r1_all=r1_old;
r2_old=zeros(2*N+1,1);
r2_old(1,1)=2*(P-rho*g);
r2_old(2*N+1,1)=2*(-P+rho*g);
r2_all=r2_old;
r3_old=zeros(2*N+1,1);
r3_old(1,1)=2*(P-rho*g);
r3_old(2*N+1,1)=2*(-P+rho*g);
r3_all=r3_old;

%D adalah matriks di ruas kiri
D1=A1bsr+2/dt*B1bsr;
D2=A2bsr+2/dt*B1bsr;
D3=A3bsr+2/dt*B1bsr;
%E adalah matriks di ruas kanan
E1=A1bsr-2/dt*B1bsr;
E2=A2bsr-2/dt*B1bsr;
E3=A3bsr-2/dt*B1bsr;
r1_new=D1\r1_old;
r1_all=[r1_all r1_new];
r1_old=r1_new;
r2_new=D2\r2_old;
r2_all=[r2_all r2_new];

```

```

r2_old=r2_new;
r3_new=D3\r3_old;
r3_all=[r3_all r3_new];
r3_old=r3_new;

%Penyelesaian dalam waktu
for i=1:t
    r1_new=D1\(-E1*r1_old);
    r1_all=[r1_all r1_new];
    r1_old=r1_new;
    r2_new=D2\(-E2*r2_old);
    r2_all=[r2_all r2_new];
    r2_old=r2_new;
    r3_new=D3\(-E3*r3_old);
    r3_all=[r3_all r3_new];
    r3_old=r3_new;
end

%Gauss-Seidel
T=0.01;          %Toleransi
X0=zeros(2*N+1,1);
X0(1:2*N+1)=1.000;
H=X0';
w=length(1);
X1=X0;
X2=X0;
X3=X0;
for k=1:N
    for i=1:w
        S1=r1_old(i)-r1_new(i,1:i-1)*X1(1:i-1)-r1_new(i,i+1:w)*X0(i+1:w);
        X1(i)=S1/r1_new(i,i);
        S2=r2_old(i)-r2_new(i,1:i-1)*X2(1:i-1)-r1_new(i,i+1:w)*X0(i+1:w);
        X2(i)=S2/r2_new(i,i);
    end
end

```

```
S3=r3_old(i)-r3_new(i,1:i-1)*X3(1:i-1)-r3_new(i,i+1:w)*X0(i+1:w);
X3(i)=S3/r3_new(i,i);
end
e=abs(X1-X0);
error=norm(e);
reller=error/(norm(X1)+eps);
X0=X1;
H=[H,X0'];
if(error<T)|(reller<T)
    break
end
end
disp(['besarnya error= ',num2str(error)]);
disp(['besarnya relatif error= ',num2str(reller)]);
H;
X1;
r1_all=[r1_all];
rall1_plot=[rall1_plot];
r2_all=[r2_all];
rall2_plot=[rall2_plot];
r3_all=[r3_all];
rall3_plot=[rall3_plot];

figure;
plot(mean(r1_all),'-ob');
hold on;
plot(mean(r2_all),'-or');
hold on;
plot(mean(r3_all),'-og');
hold on;
title('Program Simulasi Aliran Udara Dipengaruhi
oleh Kecepatan Awal Menggunakan Metode Gauss-Seidel',...
'color',[0 0 1],'fontweight','bold','fontsize',14);
```

```
xlabel('Panjang Saluran Pernapasan','color',[0 0 1],...  
      'fontweight','bold','fontsize',12);  
ylabel('Kecepatan Aliran Udara','color',[0 0 1],...  
      'fontweight','bold','fontsize',12);  
disp('Gauss-Seidel method converged');
```



LAMPIRAN B. HASIL SIMULASI MATLAB DENGAN METODE BIASA

B.1 Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Udara pada Penyempitan Saluran Pernapasan Akibat Penyakit Gondok dengan Jari-Jari 0.015 m, 0.020 m dan 0.025 m

Node ke-	0.015 <i>m</i> (m/s)	0.020 <i>m</i> (m/s)	0.025 <i>m</i> (m/s)
1	0	0	0
2	0.0275	0.0086	0.0034
3	0.0824	0.0257	0.0103
4	0.1373	0.0429	0.0171
5	0.1924	0.0601	0.0240
6	0.2476	0.0773	0.0308
7	0.3029	0.0946	0.0377
8	0.3583	0.1120	0.0446
9	0.4140	0.1293	0.0516
10	0.4699	0.1468	0.0585
11	0.5261	0.1644	0.0655
12	0.5825	0.1820	0.0726
13	0.6393	0.1998	0.0796
14	0.6965	0.2176	0.0867
15	0.7540	0.2356	0.0939
16	0.8119	0.2537	0.1011
17	0.8703	0.2719	0.1084
18	0.9292	0.2903	0.1157
19	0.9886	0.3089	0.1231
20	1.0485	0.3276	0.1306
21	1.1089	0.3465	0.1381
22	1.1700	0.3655	0.1457
23	1.2316	0.3848	0.1534
24	1.2939	0.4043	0.1612
25	1.3569	0.4240	0.1690

Node ke-	0.015 <i>m</i> (m/s)	0.020 <i>m</i> (m/s)	0.025 <i>m</i> (m/s)
26	1.4206	0.4438	0.1769
27	1.4850	0.4640	0.1850
28	1.5501	0.4843	0.1931
29	1.6160	0.5049	0.2013
30	1.6828	0.5258	0.2096
31	1.7503	0.5469	0.2180
32	1.8187	0.5682	0.2265
33	1.8880	0.5899	0.2352
34	1.9582	0.6118	0.2439
35	2.0292	0.6340	0.2527
36	2.1013	0.6565	0.2617
37	2.1743	0.6793	0.2708
38	2.2482	0.7024	0.2800
39	2.3232	0.7259	0.2894
40	2.3992	0.7496	0.2988
41	2.4763	0.7737	0.3084
42	2.5544	0.7981	0.3182
43	2.6336	0.8228	0.3280
44	2.7139	0.8479	0.3380
45	2.7953	0.8734	0.3482
46	2.8779	0.8992	0.3585
47	2.9616	0.9253	0.3689
48	3.0465	0.9519	0.3795
49	3.1326	0.9788	0.3902
50	3.2199	1.0060	0.4010

B.2 Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Udara pada Penyempitan Saluran Pernapasan Akibat Penyakit Gondok dengan Kecepatan Awal 0.2 m/s, 0.4 m/s dan 0.6 m/s

Node ke-	0.2 m/s (m/s)	0.4 m/s (m/s)	0.6 m/s (m/s)
1	0	0	0
2	0.0098	0.0196	0.0294
3	0.0294	0.0588	0.0882
4	0.0490	0.0980	0.1472
5	0.0686	0.1373	0.2063
6	0.0882	0.1767	0.2657
7	0.1078	0.2162	0.3254
8	0.1275	0.2558	0.3856
9	0.1471	0.2955	0.4462
10	0.1668	0.3354	0.5074
11	0.1865	0.3755	0.5692
12	0.2063	0.4158	0.6318
13	0.2260	0.4563	0.6951
14	0.2458	0.4971	0.7592
15	0.2656	0.5382	0.8242
16	0.2855	0.5795	0.8903
17	0.3054	0.6212	0.9573
18	0.3254	0.6632	1.0255
19	0.3454	0.7056	1.0949
20	0.3654	0.7483	1.1655
21	0.3855	0.7915	1.2373
22	0.4056	0.8351	1.3106
23	0.4258	0.8791	1.3852
24	0.4461	0.9235	1.4613
25	0.4664	0.9685	1.5390

Node ke-	0.2 m/s (m/s)	0.4 m/s (m/s)	0.6 m/s (m/s)
26	0.4868	1.0139	1.6182
27	0.5073	1.0599	1.6990
28	0.5278	1.1064	1.7815
29	0.5484	1.1535	1.8657
30	0.5691	1.2011	1.9517
31	0.5898	1.2493	2.0395
32	0.6107	1.2981	2.1291
33	0.6316	1.3475	2.2206
34	0.6526	1.3976	2.3141
35	0.6737	1.4484	2.4094
36	0.6949	1.4998	2.5068
37	0.7161	1.5519	2.6062
38	0.7375	1.6047	2.7077
39	0.7590	1.6582	2.8112
40	0.7806	1.7124	2.9168
41	0.8022	1.7674	3.0246
42	0.8240	1.8232	3.1345
43	0.8459	1.8797	3.2465
44	0.8679	1.9371	3.3608
45	0.8900	1.9952	3.4772
46	0.9123	2.0541	3.5959
47	0.9346	2.1139	3.7168
48	0.9571	2.1744	3.8399
49	0.9797	2.2359	3.9653
50	1.0024	2.2982	4.0929

LAMPIRAN C.HASIL SIMULASI MATLAB DENGAN METODE GAUSS-SEIDEL

C.1 Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Udara pada Penyempitan Saluran Pernapasan Akibat Penyakit Gondok dengan Jari-Jari 0.015 m, 0.020 m dan 0.025 m

Node ke-	0.015 <i>m</i> (m/s)	0.020 <i>m</i> (m/s)	0.025 <i>m</i> (m/s)
1	0	0	0
2	0.0275	0.0086	0.0034
3	0.0824	0.0257	0.0103
4	0.1373	0.0429	0.0171
5	0.1924	0.0601	0.0240
6	0.2476	0.0773	0.0308
7	0.3029	0.0946	0.0377
8	0.3583	0.1120	0.0446
9	0.4140	0.1293	0.0516
10	0.4699	0.1468	0.0585
11	0.5261	0.1644	0.0655
12	0.5825	0.1820	0.0726
13	0.6393	0.1998	0.0796
14	0.6965	0.2176	0.0867
15	0.7540	0.2356	0.0939
16	0.8119	0.2537	0.1011
17	0.8703	0.2719	0.1084
18	0.9292	0.2903	0.1157
19	0.9886	0.3089	0.1231
20	1.0485	0.3276	0.1306
21	1.1089	0.3465	0.1381
22	1.1700	0.3655	0.1457
23	1.2316	0.3848	0.1534
24	1.2939	0.4043	0.1612
25	1.3569	0.4240	0.1690

Node ke-	0.015 <i>m</i> (m/s)	0.020 <i>m</i> (m/s)	0.025 <i>m</i> (m/s)
26	1.4206	0.4438	0.1769
27	1.4850	0.4640	0.1850
28	1.5501	0.4843	0.1931
29	1.6160	0.5049	0.2013
30	1.6828	0.5258	0.2096
31	1.7503	0.5469	0.2180
32	1.8187	0.5682	0.2265
33	1.8880	0.5899	0.2352
34	1.9582	0.6118	0.2439
35	2.0292	0.6340	0.2527
36	2.1013	0.6565	0.2617
37	2.1743	0.6793	0.2708
38	2.2482	0.7024	0.2800
39	2.3232	0.7259	0.2894
40	2.3992	0.7496	0.2988
41	2.4763	0.7737	0.3084
42	2.5544	0.7981	0.3182
43	2.6336	0.8228	0.3280
44	2.7139	0.8479	0.3380
45	2.7953	0.8734	0.3482
46	2.8779	0.8992	0.3585
47	2.9616	0.9253	0.3689
48	3.0465	0.9519	0.3795
49	3.1326	0.9788	0.3902
50	3.2199	1.0060	0.4010

C.2 Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Udara pada Penyempitan Saluran Pernapasan Akibat Penyakit Gondok dengan Kecepatan Awal 0.2 m/s, 0.4 m/s dan 0.6 m/s

Node ke-	0.2 m/s (m/s)	0.4 m/s (m/s)	0.6 m/s (m/s)
1	0	0	0
2	0.0098	0.0196	0.0294
3	0.0294	0.0588	0.0882
4	0.0490	0.0980	0.1472
5	0.0686	0.1373	0.2063
6	0.0882	0.1767	0.2657
7	0.1078	0.2162	0.3254
8	0.1275	0.2558	0.3856
9	0.1471	0.2955	0.4462
10	0.1668	0.3354	0.5074
11	0.1865	0.3755	0.5692
12	0.2063	0.4158	0.6318
13	0.2260	0.4563	0.6951
14	0.2458	0.4971	0.7592
15	0.2656	0.5382	0.8242
16	0.2855	0.5795	0.8903
17	0.3054	0.6212	0.9573
18	0.3254	0.6632	1.0255
19	0.3454	0.7056	1.0949
20	0.3654	0.7483	1.1655
21	0.3855	0.7915	1.2373
22	0.4056	0.8351	1.3106
23	0.4258	0.8791	1.3852
24	0.4461	0.9235	1.4613
25	0.4664	0.9685	1.5390

Node ke-	0.2 m/s (m/s)	0.4 m/s (m/s)	0.6 m/s (m/s)
26	0.4868	1.0139	1.6182
27	0.5073	1.0599	1.6990
28	0.5278	1.1064	1.7815
29	0.5484	1.1535	1.8657
30	0.5691	1.2011	1.9517
31	0.5898	1.2493	2.0395
32	0.6107	1.2981	2.1291
33	0.6316	1.3475	2.2206
34	0.6526	1.3976	2.3141
35	0.6737	1.4484	2.4094
36	0.6949	1.4998	2.5068
37	0.7161	1.5519	2.6062
38	0.7375	1.6047	2.7077
39	0.7590	1.6582	2.8112
40	0.7806	1.7124	2.9168
41	0.8022	1.7674	3.0246
42	0.8240	1.8232	3.1345
43	0.8459	1.8797	3.2465
44	0.8679	1.9371	3.3608
45	0.8900	1.9952	3.4772
46	0.9123	2.0541	3.5959
47	0.9346	2.1139	3.7168
48	0.9571	2.1744	3.8399
49	0.9797	2.2359	3.9653
50	1.0024	2.2982	4.0929

LAMPIRAN D. HASIL PERHITUNGAN *ERROR RELATIF*

D.1 Hasil Perhitungan Error Relatif Kecepatan Aliran Udara yang Dipengaruhi Oleh Ukuran Jari-Jari Saluran (jari-jari 0.020 m dan kecepatan awal 0.4 m/s)

Node ke-	0.020 m (m/s)
1	0
2	0.0086
3	0.0257
4	0.0429
5	0.0601
6	0.0773
7	0.0946
8	0.1120
9	0.1293
10	0.1468
11	0.1644
12	0.1820
13	0.1998
14	0.2176
15	0.2356
16	0.2537
17	0.2719
18	0.2903
19	0.3089
20	0.3276
21	0.3465
22	0.3655
23	0.3848
24	0.4043
25	0.4240

Node ke-	0.020 m (m/s)
26	0.4438
27	0.4640
28	0.4843
29	0.5049
30	0.5258
31	0.5469
32	0.5682
33	0.5899
34	0.6118
35	0.6340
36	0.6565
37	0.6793
38	0.7024
39	0.7259
40	0.7496
41	0.7737
42	0.7981
43	0.8228
44	0.8479
45	0.8734
46	0.8992
47	0.9253
48	0.9519
49	0.9788
50	1.0060

$$\text{error relatif} = \left| \frac{X_0 - X_i}{X_i} \right| = \left| \frac{1.000 - 1.0060}{1.0060} \right| = 0.005964$$

dengan

X_0 = tebakan awal

X_i = nilai numerik

D.2 Hasil Perhitungan Error Relatif Kecepatan Aliran Udara yang Dipengaruhi Oleh Kecepatan Awal (jari-jari 0.01631 m dan kecepatan awal 0.2 m/s)

Node ke-	0.2 m/s (m/s)
1	0
2	0.0098
3	0.0294
4	0.0490
5	0.0686
6	0.0882
7	0.1078
8	0.1275
9	0.1471
10	0.1668
11	0.1865
12	0.2063
13	0.2260
14	0.2458
15	0.2656
16	0.2855
17	0.3054
18	0.3254
19	0.3454
20	0.3654
21	0.3855
22	0.4056
23	0.4258
24	0.4461
25	0.4664

Node ke-	0.02 m/s (m/s)
26	0.4868
27	0.5073
28	0.5278
29	0.5484
30	0.5691
31	0.5898
32	0.6107
33	0.6316
34	0.6526
35	0.6737
36	0.6949
37	0.7161
38	0.7375
39	0.7590
40	0.7806
41	0.8022
42	0.8240
43	0.8459
44	0.8679
45	0.8900
46	0.9123
47	0.9346
48	0.9571
49	0.9797
50	1.0024

$$\text{error relatif} == \left| \frac{X_0 - X_i}{X_i} \right| = \left| \frac{1.000 - 1.0024}{1.0024} \right| = 0.002394$$

dengan

X_0 = tebakan awal

X_i = nilai numerik

LAMPIRAN E. MONOGRAF





Program Studi Pendidikan Matematika
Jurusan Pendidikan MIPA
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Jember

Monograf

Pemodelan Matematika

Analisis Numerik Aliran Udara pada Penyempitan Saluran Pernapasan
Akibat Penyakit Gondok Menggunakan Metode Elemen Hingga

Siti Aisyah
Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D,
Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.



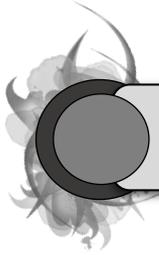
monograf **PEMODELAN MATEMATIKA**

Analisis Numerik Aliran Udara pada Penyempitan Saluran Pernapasan
Akibat Penyakit Gondok Menggunakan Metode Elemen Hingga

Siti Aisyah
Prof. Drs. Dafik, M.Sc. Ph.D.
Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.
Author

©Maret, 2017, Pendidikan Matematika FKIP Uiversitas Jember





KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kehadiran Allah SWT, karena dengan rahmat, hidayah dan anugerah-Nya sehingga monograf dengan judul **Analisis Numerik Aliran Udara pada Penyempitan Saluran Pernapasan Akibat Penyakit Gondok Menggunakan Metode Elemen Hingga** ini dapat diselesaikan. Semoga dengan tersusunnya monograf ini, para pembacanya mendapatkan manfaat yang besar. Penulis juga menyadari bahwa monograf ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan bahan ajar ini. Akhirnya penulis berharap, semoga monograf ini dapat bermanfaat.

Jember, Maret 2017

Penulis

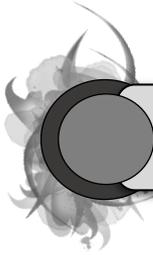




DAFTAR ISI

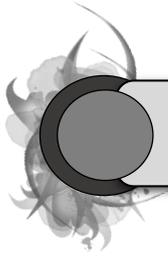
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR LAMBANG	v
BAB 1. PENDAHULUAN	1
BAB 2. KONSTRUKSI MODEL MATEMATIKA.....	2
2.1 Penyempitan Saluran Pernapasan	2
2.2 Persamaan Momentum.....	3
2.3 Penurunan Persamaan Elemen.....	4
2.4 Penyusunan Matriks Global.....	9
2.5 Penyelesaian dalam Waktu	10
BAB 3. KOMPUTASI MATLAB	12
BAB 4. SIMULASI FLUENT	22
DAFTAR PUSTAKA	28
GLOSARIUM	29





DAFTAR GAMBAR

2.1 Struktur sistem pernapasan	2
3.1 Tampilan <i>command window</i> kecepatan aliran yang dipengaruhi oleh ukuran jari-jari saluran pernapasan	16
3.2 Grafik kecepatan aliran udara dengan ukuran jari-jari saluran 0.015 m, 0.020 m dan 0.025 m	16
3.3 Tampilan <i>command window</i> kecepatan aliran yang dipengaruhi oleh Kecepatan awal	20
3.4 Grafik kecepatan aliran udara yang dipengaruhi oleh kecepatan awal 0.2 m/s, 0.4 m/s dan 0.6 m/s.....	21
4.1 Desain GAMBIT saluran pernapasan pada kondisi normal dengan jari-jari 0.025 m	22
4.2 <i>Mesh</i> saluran pernapasan pada kondisi normal dengan jari-jari saluran 0.025 m.....	23
4.3 Simulasi kecepatan aliran udara saluran pernapasan dalam kondisi normal jari-jari 0.025 m	25
4.4 Simulasi kecepatan aliran udara dengan jari-jari saluran pernapasan 0.020 m	25
4.5 Simulasi kecepatan aliran udara dengan jari-jari saluran pernapasan 0.015 m	26
4.6 Simulasi kecepatan aliran udara dengan kecepatan awal 0.2 m/s.....	26
4.7 Simulasi kecepatan aliran udara dengan kecepatan awal 0.4 m/s.....	27
4.8 Simulasi kecepatan aliran udara dengan kecepatan awal 0.6 m/s.....	27



DAFTAR LAMBANG

$[k]$ = matriks kekakuan

u = vektor kolom

F = gaya

Q = debit aliran

P = tekanan

r = jari-jari saluran

η = kekentalan zat

l = panjang saluran

μ = koefisien gesek

ρ = massa jenis

τ = tegangan zat

g = gravitasi

y = sumbu y

t = waktu

v = kecepatan





BAB 1. PENDAHULUAN

Pemodelan matematika (*mathematical modelling*) yang merupakan penurunan suatu studi tentang konsep dan operasi matematika dalam konteks dunia real dan pembentukan model-model dalam menggali dan memahami situasi masalah kompleks yang sesungguhnya. Sedangkan representasi matematika yang dihasilkan dari proses ini dikenal sebagai model matematika. Dalam kehidupan sehari-hari terdapat banyak masalah kontekstual seperti masalah tentang penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok yang membutuhkan model matematika.

Penyakit gondok adalah kelenjar tiroid yang mengalami pembengkakan sehingga membentuk benjolan pada leher. Akan tetapi, tidak semua penyakit gondok mengalami gejalanya. Indikasi yang sering muncul yaitu terbentuknya benjolan abnormal pada leher dengan ukuran benjolan berbeda-beda pada tiap penderita. Benjolan yang berukuran kecil biasanya tidak menyebabkan gejala apapun, yang perlu diperhatikan adalah ketika pembengkakan yang terjadi menuju ke arah dada karena dapat menekan jalan napas (*trachea*). Hal tersebut dapat menyebabkan penyempitan saluran pernapasan.

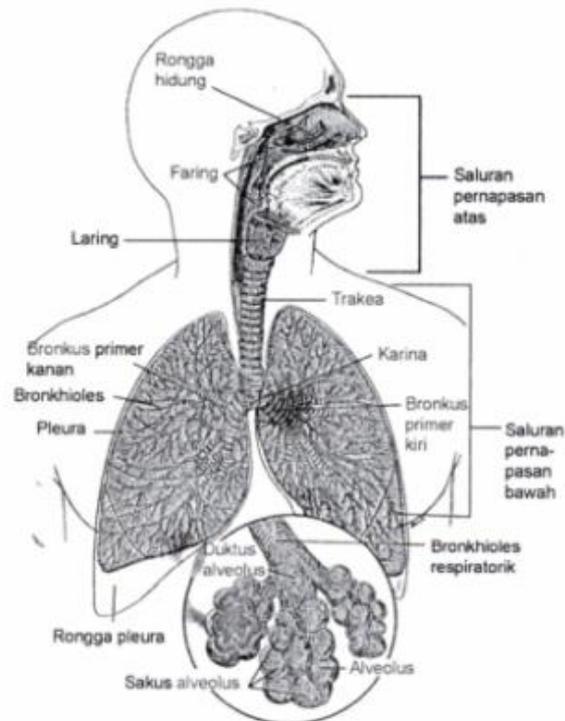
Selanjutnya, dikembangkanlah *Computational Fluid Dynamics* atau disebut CFD yang merupakan suatu teknologi komputasi yang digunakan untuk mempelajari dan sebagai alat untuk menganalisa fenomena dinamika fluida seperti aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, aliran multifasa, interaksi fluida dengan struktur dan sistem akustik, interaksi fluida dan solid.

Pada monograf ini akan disajikan langkah-langkah pembentukan model matematika penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok didasarkan pada persamaan momentum dan diselesaikan dengan menggunakan metode elemen hingga. Kemudian akan dilanjutkan dengan perhitungan numerik menggunakan MATLAB dan disimulasikan dengan FLUENT.

BAB 2. KONSTRUKSI MODEL MATEMATIKA

2.1. Penyempitan Saluran Pernapasan

Struktur utama sistem pernapasan adalah saluran udara pernapasan terdiri dari jalan napas dan saluran napas, serta paru (parenkim paru). Yang disebut sebagai jalan napas adalah (1) nares, hidung bagian luar (external nose), (2) hidung bagian dalam (internal nose), (3) sinus paranasal, (4) faring, (5) laring. Sedangkan saluran napas adalah (1) trakea, (2) bronki dan bronkioli (Djojodibroto, 2009:6).



Gambar 2.1. Struktur sistem pernapasan

(Sumber: Thibodeau, G.A. 1992. *Structure and function of body*. St. Louis: Mosby)

Tidak semua pembesaran yang terjadi pada tiroid berbahaya karena tidak otomatis meningkatkan produksi hormon. Yang perlu diperhatikan adalah pembesaran yang terjadi ke arah rongga dada karena dapat menekan saluran napas (*trachea*) Diasumsikan bahwa penyempitan terjadi pada daerah trakea secara simetris radial dimana pembengkakan yang terjadi pada kelenjar tiroid di bagian kanan dan di bagian kiri adalah sama.

2.2. Persamaan Momentum

Persamaan momentum dibentuk berdasarkan hukum kekekalan momentum yang diturunkan melalui persamaan diferensial gerak fluida dengan meninjau volume keunsuran atau sistem keunsuran.

Persamaan momentum untuk penyempitan saluran pernapasan ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial \rho v \phi_y}{\partial y} = \Sigma F \quad (2.1)$$

Force (F) merupakan gaya. Gaya-gaya yang bekerja pada proses ini adalah :

1. Gaya tekanan atau *pressure* (P)
2. Gaya kekentalan zat (ρ)
3. Gaya gravitasi (g)
4. Gaya tegangan zat (τ)

sehingga, persamaan gaya yang bekerja terhadap penyempitan saluran pernapasan adalah

$$F = -\nabla P + \rho g_i + \nabla \tau_{ij} \quad (2.2)$$

dimana

$$\begin{aligned} -\nabla P &= -\frac{\partial P}{\partial y} \\ \rho g_i &= \rho \frac{\partial g}{\partial y} \\ \nabla \tau_{ij} &= \frac{\partial}{\partial y} (\tau_{yy}) \end{aligned}$$

karena aliran fluida yang dimodelkan adalah satu dimensi yaitu searah sumbu-y, maka gaya tegangan zat menggunakan τ_{yy} . Nilai gaya tegangan zat adalah: (White, 1986:202)

$$\tau_{yy} = 2\mu \frac{\partial \phi}{\partial y}$$

Sehingga

$$F = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho \frac{\partial g}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(2\mu \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) \quad (2.3)$$

Jadi, persamaan momentum saluran pernapasan adalah

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial \rho v \phi_y}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho \frac{\partial g}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(2\mu \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) \quad (2.4)$$

2.3. Penurunan Persamaan Elemen

Setelah mendapatkan persamaan momentum, maka persamaan tersebut akan diselesaikan dengan menggunakan metode elemen hingga. Persamaan tersebut akan diturunkan dengan pendekatan kuadrat. Pada pendekatan kuadrat fungsi tersebut adalah

$$C = \alpha_1 + \alpha_2 y + \alpha_3 y^2 \quad (2.5)$$

dengan

$$C = C_i \text{ dengan } y = 0$$

$$C = C_j \text{ dengan } y = \frac{l}{2}$$

$$C = C_k \text{ dengan } y = l$$

maka

$$\alpha_1 = C_i$$

$$\alpha_2 = \frac{4C_j - 3C_i - C_k}{l}$$

$$\alpha_3 = \frac{2(C_i - 2C_j + C_k)}{l^2} \quad (2.6)$$

dengan mensubstitusikan persamaan (2.5) ke persamaan (2.6) maka didapat

$$C = C_i + \frac{4C_j - 3C_i - C_k}{l} y + (C_i - 2C_j + C_k) \frac{2}{l^2} y^2$$

$$C = C_i \left[1 - \frac{3y}{l} + \frac{2y^2}{l^2} \right] + C_j \left[\frac{4y}{l} - \frac{4y^2}{l^2} \right] + C_k \left[-\frac{y}{l^2} + \frac{2y^2}{l^2} \right]$$

$$C = C_i \left[1 - \frac{2y}{l} \left(1 - \frac{y}{l} \right) \right] + C_j \left[\frac{4y}{l} - \left(1 - \frac{y}{l} \right) \right] + C_k \left[-\frac{y}{l} \left(1 - \frac{2y}{l} \right) \right]$$

atau dapat ditulis sebagai

$$C = N_i C_i + N_j C_j + N_k C_k$$

dengan

$$N_i = \left(1 - \frac{2y}{l} \right) \left(1 - \frac{y}{l} \right)$$

$$N_j = \frac{4y}{l} \left(1 - \frac{y}{l} \right)$$

$$N_k = -\frac{y}{l} \left(1 - \frac{2y}{l} \right) \quad (2.7)$$

Selanjutnya adalah penurunan persamaan momentum dengan metode Galerkin, residu R adalah

$$R(C) = \frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial \rho v \phi_y}{\partial y} \quad (2.8)$$

dengan



$$R = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho \frac{\partial g}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(2\mu \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) \quad (2.9)$$

pembobotan R terhadap N_j memberikan :

$$\int_0^l \left(\frac{\partial \rho(\Sigma N_i C_i)}{\partial t} + \frac{\partial \rho v(\Sigma N_i C_i)}{\partial y} \right) N_j dy = \int_0^l \left(-\frac{\partial P}{\partial y} + \rho \frac{\partial g}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(2\mu \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) \right) N_j dy \quad (2.10)$$

Persamaan (2.10) dapat diuraikan menjadi

$$\begin{aligned} & \rho \frac{\partial C_i}{\partial t} \int_0^l (\Sigma N_i) N_j dy + \rho v \int_0^l \frac{\partial (\Sigma N_i C_i)}{\partial y} N_j dy - 2\mu \int_0^l \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial (\Sigma N_i C_i)}{\partial y} \right) N_j dy = \\ & -P \int_0^l \frac{\partial N_j}{\partial y} dy + \rho g \int_0^l \frac{\partial N_j}{\partial y} dy \end{aligned} \quad (2.11)$$

kemudian mengintegrasikan parsial persamaan (2.11)

$$\begin{aligned} & \rho \frac{\partial C_i}{\partial t} \int_0^l (\Sigma N_i) N_j dy + \rho v \int_0^l \frac{\partial (\Sigma N_i C_i)}{\partial y} N_j dy - 2\mu \left[N_j \frac{\partial N_i C_i}{\partial y} \Big|_0^l - \int_0^l \left(\frac{\partial (\Sigma N_i C_i)}{\partial y} \right) \frac{\partial N_j}{\partial y} dy \right] = \\ & -P \int_0^l \frac{\partial N_j}{\partial y} dy + \rho g \int_0^l \frac{\partial N_j}{\partial y} dy \end{aligned} \quad (2.12)$$

dapat ditulis sebagai :

$$\begin{aligned} & 2\mu \int_0^l \left(\frac{\partial (\Sigma N_i C_i)}{\partial y} \right) \frac{\partial N_j}{\partial y} dy - 2\mu N_j \frac{\partial N_i C_i}{\partial y} \Big|_0^l + \rho v \int_0^l \frac{\partial (\Sigma N_i C_i)}{\partial y} N_j dy + \rho \frac{\partial C_i}{\partial t} \int_0^l (\Sigma N_i) N_j dy = \\ & -P \int_0^l \frac{\partial N_j}{\partial y} dy + \rho g \int_0^l \frac{\partial N_j}{\partial y} dy \end{aligned} \quad (2.13)$$

dan selanjutnya dapat ditulis menjadi

$$\begin{aligned} & \left[2\mu \int_0^l \left(\frac{\partial N_i}{\partial y} \right) \frac{\partial N_j}{\partial y} dy - 2\mu N_j \frac{\partial N_i}{\partial y} \Big|_0^l + \rho v \int_0^l \frac{\partial (\Sigma N_i)}{\partial y} N_j dy \right] C_i + \left[\rho \int_0^l (\Sigma N_i) N_j dy \right] \frac{\partial C_i}{\partial t} = \\ & -P \int_0^l \frac{\partial N_j}{\partial y} dy + \rho g \int_0^l \frac{\partial N_j}{\partial y} dy \end{aligned} \quad (2.14)$$

Persamaan (2.14) dapat dituliskan sebagai persamaan matriks

$$|E|\{q\} + |E_t|\{\dot{q}\} = \{Q\}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} & \left(2\mu \int_0^l [B]^T [B] dy - 2\mu [B]^T [N] \Big|_0^l + \rho v \int_0^l [N]^T [N] dy \right) C_i + \left(\rho \int_0^l [N]^T [N] dy \right) \frac{\partial C_i}{\partial t} = \\ & -P \int_0^l [B] dy + \rho g \int_0^l [B] dy \end{aligned} \quad (2.15)$$

dengan

$$\{\dot{q}\}^T = \left\{ \frac{\partial C_1}{\partial t}, \frac{\partial C_2}{\partial t}, \frac{\partial C_3}{\partial t} \right\}$$

$|E|, |E_t|$ = matriks – matriks sifat elemen

$\{Q\}$ = vektor parameter pemaksa elemen

Matrik-matriks tersebut dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$[E] = 2\mu \int_0^l [B]^T [B] dy - 2\mu [B]^T [N] \Big|_0^l + pv \int_0^l [N]^T [N] dy$$

$$[E_t] = p \int_0^l [N]^T [N] dy$$

$$\{Q\} = -P \int_0^l [B] dy + pg \int_0^l [B] dy$$

dengan $[B]$ adalah matriks transformasi umum yang diperoleh dengan mengambil turunan dari C_k , sehingga didapatkan :

$$[B] = \left[\left(\frac{4y}{l^2} - \frac{3}{l} \right) \quad \left(\frac{4}{l} - \frac{8y}{l^2} \right) \quad \left(\frac{4y}{l^2} - \frac{1}{l} \right) \right] \quad (2.16)$$

Hasil dari matriks $|E|, |E_t|$, dan $\{Q\}$ adalah

$$\begin{aligned} [E] = 2\mu \int_0^l \begin{bmatrix} \left(\frac{4y}{l^2} - \frac{3}{l} \right) \\ \left(\frac{4}{l} - \frac{8y}{l^2} \right) \\ \left(\frac{4y}{l^2} - \frac{1}{l} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \left(\frac{4y}{l^2} - \frac{3}{l} \right) & \left(\frac{4}{l} - \frac{8y}{l^2} \right) & \left(\frac{4y}{l^2} - \frac{1}{l} \right) \end{bmatrix} dy - \begin{bmatrix} \left(\frac{4y}{l^2} - \frac{3}{l} \right) \\ \left(\frac{4}{l} - \frac{8y}{l^2} \right) \\ \left(\frac{4y}{l^2} - \frac{1}{l} \right) \end{bmatrix} \\ \left[\left(1 - \frac{2y}{l} \right) \left(1 - \frac{y}{l} \right) \quad \left(\frac{4y}{l} \right) \left(1 - \frac{y}{l} \right) \quad \left(-\frac{y}{l} \right) \left(1 - \frac{2y}{l} \right) \right] \Big|_0^l \\ + pv \int_0^l \begin{bmatrix} \left(1 - \frac{2y}{l} \right) \left(1 - \frac{y}{l} \right) \\ \left(\frac{4y}{l} \right) \left(1 - \frac{y}{l} \right) \\ \left(-\frac{y}{l} \right) \left(1 - \frac{2y}{l} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \left(\frac{4y}{l^2} - \frac{3}{l} \right) & \left(\frac{4}{l} - \frac{8y}{l^2} \right) & \left(\frac{4y}{l^2} - \frac{1}{l} \right) \end{bmatrix} dy \end{aligned} \quad (2.17)$$

selanjutnya didapat

$$[E] = 2\mu \int_0^l \begin{bmatrix} \left(\frac{16y^2}{l^4} - \frac{24y}{l^3} + \frac{9}{l^2} \right) & \left(-\frac{32y^2}{l^4} + \frac{40y}{l^3} - \frac{12}{l^2} \right) & \left(\frac{16y^2}{l^4} - \frac{16y}{l^3} + \frac{3}{l^2} \right) \\ \left(-\frac{32y^2}{l^4} + \frac{40y}{l^3} - \frac{12}{l^2} \right) & \left(\frac{64y^2}{l^4} - \frac{64y}{l^3} + \frac{16}{l^2} \right) & \left(-\frac{32y^2}{l^4} + \frac{40y}{l^3} - \frac{12}{l^2} \right) \\ \left(\frac{16y^2}{l^4} - \frac{16y}{l^3} + \frac{3}{l^2} \right) & \left(-\frac{32y^2}{l^4} + \frac{40y}{l^3} - \frac{12}{l^2} \right) & \left(\frac{16y^2}{l^4} - \frac{8y}{l^3} + \frac{1}{l^2} \right) \end{bmatrix} dy -$$

$$2\mu \left[\begin{array}{ccc} \left(\frac{8y^3}{l^4} - \frac{18y^2}{l^3} + \frac{13y}{l^2} - \frac{3}{l} \right) & \left(\frac{16y^3}{l^4} + \frac{32y^2}{l^3} - \frac{20y}{l^2} + \frac{4}{l} \right) & \left(\frac{8y^3}{l^4} - \frac{14y^2}{l^3} + \frac{7y}{l^2} - \frac{1}{l} \right) \\ \left(-\frac{16y^3}{l^4} + \frac{28y^2}{l^3} - \frac{12}{l^2} \right) & \left(\frac{32y^3}{l^4} - \frac{48y^2}{l^3} + \frac{16}{l^2} \right) & \left(-\frac{32y^3}{l^4} + \frac{24y^2}{l^3} - \frac{4}{l^2} \right) \\ \left(\frac{8y^3}{l^4} - \frac{10y^2}{l^3} + \frac{3y}{l^2} \right) & \left(-\frac{16y^3}{l^4} + \frac{16y^2}{l^3} - \frac{4y}{l^2} \right) & \left(\frac{8y^3}{l^4} - \frac{6y^2}{l^3} + \frac{y}{l^2} \right) \end{array} \right]_0^l$$

$$pv \int_0^l \left[\begin{array}{ccc} \left(\frac{8y^3}{l^4} - \frac{18y^2}{l^3} + \frac{13y}{l^2} - \frac{3}{l} \right) & \left(\frac{16y^3}{l^4} + \frac{32y^2}{l^3} - \frac{20y}{l^2} + \frac{4}{l} \right) & \left(\frac{8y^3}{l^4} - \frac{14y^2}{l^3} + \frac{7y}{l^2} - \frac{1}{l} \right) \\ \left(-\frac{16y^3}{l^4} + \frac{28y^2}{l^3} - \frac{12}{l^2} \right) & \left(\frac{32y^3}{l^4} - \frac{48y^2}{l^3} + \frac{16}{l^2} \right) & \left(-\frac{32y^3}{l^4} + \frac{24y^2}{l^3} - \frac{4}{l^2} \right) \\ \left(\frac{8y^3}{l^4} - \frac{10y^2}{l^3} + \frac{3y}{l^2} \right) & \left(-\frac{16y^3}{l^4} + \frac{16y^2}{l^3} - \frac{4y}{l^2} \right) & \left(\frac{8y^3}{l^4} - \frac{6y^2}{l^3} + \frac{y}{l^2} \right) \end{array} \right] dy$$

(2.18)

dengan mengintegrasikan persamaan (2.18), maka didapatkan penyelesaian dalam bentuk matriks :

$$[E] = 2\mu \left[\begin{array}{ccc} \frac{7}{3l} - \frac{3}{l} & -\frac{8}{3l} + \frac{4}{l} & \frac{1}{3l} - \frac{1}{l} \\ -\frac{8}{3l} - 0 & \frac{16}{3l} - 0 & -\frac{8}{3l} - 0 \\ \frac{1}{3l} - \frac{1}{l} & -\frac{8}{3l} + \frac{4}{l} & \frac{7}{3l} - \frac{3}{l} \end{array} \right] + pv \left[\begin{array}{ccc} -\frac{1}{2} & \frac{2}{3} & -\frac{1}{6} \\ -\frac{2}{3} & 0 & \frac{2}{3} \\ \frac{1}{6} & -\frac{2}{3} & \frac{1}{2} \end{array} \right]$$

(2.19)

atau dapat ditulis sebagai

$$[E] = \frac{2\mu}{3l} \begin{bmatrix} -2 & 4 & -2 \\ -8 & 16 & -8 \\ -2 & 4 & -2 \end{bmatrix} + \frac{pv}{6} \begin{bmatrix} -3 & 4 & -1 \\ -4 & 0 & 4 \\ 1 & -4 & 3 \end{bmatrix}$$

(2.20)

Sedangkan untuk penurunan model $[E_t]$ adalah

$$[E_t] = \int_0^l [N]^T [N] dy$$

atau dapat dituliskan dengan mengoperasikan perkalian dua matriks maka didapatkan bentuk

$$[E_t] = p \int_0^l \begin{bmatrix} N_i N_i & N_i N_j & N_i N_k \\ N_j N_i & N_j N_j & N_j N_k \\ N_k N_i & N_k N_j & N_k N_k \end{bmatrix} dy$$

dengan memasukkan nilai-nilai dari persamaan (2.7) , maka didapat :

$$[E_t] = p \int_0^l \begin{bmatrix} \left(1 - \frac{2y}{l}\right)^2 \left(1 - \frac{y}{l}\right)^2 & \left(\frac{4y}{l}\right) \left(1 - \frac{2y}{l}\right) \left(1 - \frac{y}{l}\right)^2 & \left(-\frac{y}{l}\right) \left(1 - \frac{y}{l}\right) \left(1 - \frac{2y}{l}\right)^2 \\ \left(\frac{4y}{l}\right) \left(1 - \frac{2y}{l}\right) \left(1 - \frac{y}{l}\right)^2 & \left(\frac{4y}{l}\right)^2 \left(1 - \frac{y}{l}\right)^2 & \left(\frac{4y}{l}\right)^2 \left(1 - \frac{2y}{l}\right) \left(1 - \frac{y}{l}\right) \\ \left(-\frac{y}{l}\right) \left(1 - \frac{y}{l}\right) \left(1 - \frac{2y}{l}\right)^2 & \left(\frac{4y}{l}\right)^2 \left(1 - \frac{y}{l}\right) \left(1 - \frac{2y}{l}\right) & \left(-\frac{y}{l}\right)^2 \left(1 - \frac{2y}{l}\right)^2 \end{bmatrix} dy \quad (2.21)$$

dengan mengalikan masing-masing suku maka didapatkan :

$$[E_t] = p \int_0^l \begin{bmatrix} \frac{4y^4}{l^4} - \frac{12y^3}{l^3} + \frac{13y^2}{l^2} - \frac{6y}{l} + 1 & -\frac{8y^4}{l^4} + \frac{20y^3}{l^3} - \frac{16y^2}{l^2} + \frac{4y}{l} & \frac{4y^4}{l^4} - \frac{8y^3}{l^3} + \frac{5y^2}{l^2} - \frac{y}{l} \\ -\frac{8y^4}{l^4} + \frac{20y^3}{l^3} - \frac{16y^2}{l^2} + \frac{4y}{l} & \frac{16y^4}{l^4} - \frac{32y^3}{l^3} + \frac{16y^2}{l^2} & -\frac{8y^4}{l^4} + \frac{12y^3}{l^3} - \frac{4y^2}{l^2} \\ \frac{4y^4}{l^4} - \frac{8y^3}{l^3} + \frac{5y^2}{l^2} - \frac{y}{l} & -\frac{8y^4}{l^4} + \frac{12y^3}{l^3} - \frac{4y^2}{l^2} & \frac{4y^4}{l^4} - \frac{4y^3}{l^3} + \frac{y^2}{l^2} \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

dengan mengintegalkan persamaan (2.22), maka didapatkan :

$$[E_t] = p \begin{bmatrix} \frac{2l}{15} & \frac{l}{15} & -\frac{l}{30} \\ \frac{l}{15} & \frac{8l}{15} & \frac{l}{15} \\ -\frac{l}{30} & \frac{l}{15} & \frac{2l}{15} \end{bmatrix} \text{ atau } [E_t] = \frac{pl}{30} \begin{bmatrix} 4 & 2 & -1 \\ 2 & 16 & 2 \\ -1 & 2 & 4 \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Vektor parameter gaya {Q} dari persamaan (2.15) didapatkan :

$$\{Q\} = -P \int_0^l [B] dy + pg \int_0^l [B] dy = (-P + pg) \int_0^l [B] dy$$

dengan mensubstitusikan nilai [B] dari persamaan (2.16) maka akan didapat :

$$\{Q\} = (-P + pg) \int_0^l \left[\left(\frac{4y}{l^2} - \frac{3}{l}\right) \left(\frac{4}{l} - \frac{8y}{l^2}\right) \left(\frac{4y}{l^2} - \frac{1}{l}\right) \right] dy \quad (2.24)$$

setelah menintegalkan persamaan (2.24) maka didapatkan:

$$\{Q\} = (-P + pg)[-1 \quad 0 \quad 1] = [(P - pg) \quad 0 \quad (-P + pg)] \quad (2.25)$$

sehingga untuk vektor parameter pemaksa elemen didapatkan :

$$\{Q\} = \begin{bmatrix} P - pg \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ -P + pg \end{bmatrix}$$

2.5. Penyelesaian dalam Waktu

Persamaan matriks global selanjutnya akan diselesaikan dalam waktu. Persamaan matriks global dalam waktu tersebut dapat dituliskan :

$$[K]\{r\} + [K_t]\{\dot{r}\} = |R|$$

atau dapat ditulis sebagai :

$$[K](\theta\{r\}_{t+\Delta t} + (1 - \theta)\{r\}_t) + [K_t]\left\{\theta\left\{\frac{\partial\{r\}}{\partial t}\right\}_{t+\Delta t} + (1 - \theta)\left\{\frac{\partial\{r\}}{\partial t}\right\}_t\right\} = \{R\}_{t+\Delta t} \quad (2.28)$$

selanjutnya diambil $\theta = \frac{1}{2}$, maka akan diperoleh pola Crank-Nicholson dengan pola pendekatan :

$$\frac{1}{2}\left\{\left\{\frac{\partial\{r\}}{\partial t}\right\}_{t+\Delta t} + \left\{\frac{\partial\{r\}}{\partial t}\right\}_t\right\} \cong \frac{\{r\}_{t+\Delta t} - \{r\}_t}{\Delta t} \quad (2.29)$$

maka dengan pendekatan pola Crank-Nicholson persamaan (2.29) menjadi:

$$[K]\frac{1}{2}(\{r\}_{t+\Delta t} + \{r\}_t) + [K_t]\left\{\frac{\{r\}_{t+\Delta t} - \{r\}_t}{\Delta t}\right\} = \{R\}_{t+\Delta t} \quad (2.30)$$

atau dapat dituliskan menjadi

$$[K](\{r\}_{t+\Delta t} + \{r\}_t) + \frac{2}{\Delta t}[K_t](\{r\}_{t+\Delta t} - \{r\}_t) = 2\{R\}_{t+\Delta t} \quad (2.31)$$

Jika diuraikan bentuk persamaan (2.31) menjadi :

$$[K]\{r\}_{t+\Delta t} + [K]\{r\}_t + \frac{2}{\Delta t}[K_t]\{r\}_{t+\Delta t} - \frac{2}{\Delta t}[K_t]\{r\}_t = 2\{R\}_{t+\Delta t} \quad (2.32)$$

dengan mengumpulkan suku sejenis akan didapatkan persamaan matriks global terhadap waktu, yaitu :

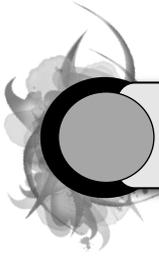
$$\left([K] + \frac{2}{\Delta t}[K_t]\right)\{r\}_{t+\Delta t} = 2\{R\}_{t+\Delta t} - \left([K] - \frac{2}{\Delta t}[K_t]\right)\{r\}_t \quad (2.33)$$

Dari persamaan momentum akan didapatkan persamaan matriks berikut :

$$\begin{aligned}
 & \left([K] + \frac{2}{\Delta t} [K_t] \right) \{r\}_{t+\Delta t} = 2\{R\}_{t+\Delta t} - \left([K] - \frac{2}{\Delta t} [K_t] \right) \{r\}_t \\
 & \left(\begin{bmatrix} \left(-\frac{4\mu}{3l} - \frac{3\rho v}{6}\right) & \left(\frac{8\mu}{3l} + \frac{4\rho v}{6}\right) & \left(-\frac{4\mu}{3l} - \frac{\rho v}{6}\right) \\ \left(-\frac{16\mu}{3l} + \frac{4\rho v}{6}\right) & \left(\frac{32\mu}{3l}\right) & \left(-\frac{16\mu}{3l} + \frac{4\rho v}{6}\right) \\ \left(-\frac{4\mu}{3l} + \frac{\rho v}{6}\right) & \left(\frac{8\mu}{3l} - \frac{4\rho v}{6}\right) & \left(-\frac{4\mu}{3l} + \frac{3\rho v}{6}\right) \end{bmatrix} + \frac{2}{\Delta t} \begin{bmatrix} \frac{4\rho l}{30} & \frac{2\rho l}{30} & -\frac{\rho l}{30} \\ \frac{2\rho l}{30} & \frac{16\rho l}{30} & \frac{2\rho l}{30} \\ -\frac{\rho l}{30} & \frac{2\rho l}{30} & \frac{4\rho l}{30} \end{bmatrix} \right) \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{pmatrix}_{t+\Delta t} = \\
 & 2(-P + \rho g) \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} - \left(\left(\begin{bmatrix} \left(-\frac{4\mu}{3l} - \frac{3\rho v}{6}\right) & \left(\frac{8\mu}{3l} + \frac{4\rho v}{6}\right) & \left(-\frac{4\mu}{3l} - \frac{\rho v}{6}\right) \\ \left(-\frac{16\mu}{3l} + \frac{4\rho v}{6}\right) & \left(\frac{32\mu}{3l}\right) & \left(-\frac{16\mu}{3l} + \frac{4\rho v}{6}\right) \\ \left(-\frac{4\mu}{3l} + \frac{\rho v}{6}\right) & \left(\frac{8\mu}{3l} - \frac{4\rho v}{6}\right) & \left(-\frac{4\mu}{3l} + \frac{3\rho v}{6}\right) \end{bmatrix} + \frac{2}{\Delta t} \begin{bmatrix} \frac{4\rho l}{30} & \frac{2\rho l}{30} & -\frac{\rho l}{30} \\ \frac{2\rho l}{30} & \frac{16\rho l}{30} & \frac{2\rho l}{30} \\ -\frac{\rho l}{30} & \frac{2\rho l}{30} & \frac{4\rho l}{30} \end{bmatrix} \right) \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{pmatrix}_t
 \end{aligned}$$

atau dapat ditulis sebagai

$$\begin{aligned}
 & \left(\begin{bmatrix} \left(-\frac{4\mu}{3l} - \frac{3\rho v}{6}\right) & \left(\frac{8\mu}{3l} + \frac{4\rho v}{6}\right) & \left(-\frac{4\mu}{3l} - \frac{\rho v}{6}\right) \\ \left(-\frac{16\mu}{3l} + \frac{4\rho v}{6}\right) & \left(\frac{32\mu}{3l}\right) & \left(-\frac{16\mu}{3l} + \frac{4\rho v}{6}\right) \\ \left(-\frac{4\mu}{3l} + \frac{\rho v}{6}\right) & \left(\frac{8\mu}{3l} - \frac{4\rho v}{6}\right) & \left(-\frac{4\mu}{3l} + \frac{3\rho v}{6}\right) \end{bmatrix} + \frac{2}{\Delta t} \begin{bmatrix} \frac{4\rho l}{30} & \frac{2\rho l}{30} & -\frac{\rho l}{30} \\ \frac{2\rho l}{30} & \frac{16\rho l}{30} & \frac{2\rho l}{30} \\ -\frac{\rho l}{30} & \frac{2\rho l}{30} & \frac{4\rho l}{30} \end{bmatrix} \right) \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{pmatrix}_{t+\Delta t} = \\
 & 2 \begin{bmatrix} P - \rho g \\ 0 \\ -P + \rho g \end{bmatrix} - \left(\left(\begin{bmatrix} \left(-\frac{4\mu}{3l} - \frac{3\rho v}{6}\right) & \left(\frac{8\mu}{3l} + \frac{4\rho v}{6}\right) & \left(-\frac{4\mu}{3l} - \frac{\rho v}{6}\right) \\ \left(-\frac{16\mu}{3l} + \frac{4\rho v}{6}\right) & \left(\frac{32\mu}{3l}\right) & \left(-\frac{16\mu}{3l} + \frac{4\rho v}{6}\right) \\ \left(-\frac{4\mu}{3l} + \frac{\rho v}{6}\right) & \left(\frac{8\mu}{3l} - \frac{4\rho v}{6}\right) & \left(-\frac{4\mu}{3l} + \frac{3\rho v}{6}\right) \end{bmatrix} + \frac{2}{\Delta t} \begin{bmatrix} \frac{4\rho l}{30} & \frac{2\rho l}{30} & -\frac{\rho l}{30} \\ \frac{2\rho l}{30} & \frac{16\rho l}{30} & \frac{2\rho l}{30} \\ -\frac{\rho l}{30} & \frac{2\rho l}{30} & \frac{4\rho l}{30} \end{bmatrix} \right) \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{pmatrix}_t
 \end{aligned}$$



BAB 3. KOMPUTASI MATLAB

Setelah mendapatkan persamaan matriks global, selanjutnya akan diselesaikan dalam waktu, maka model penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok dapat diselesaikan dan disimulasikan secara numerik menggunakan software MATLAB.

$$\left([K] + \frac{2}{\Delta t} [K_t] \right) \{r\}_{t+\Delta t} = 2\{R\}_{t+\Delta t} - \left([K] - \frac{2}{\Delta t} [K_t] \right) \{r\}_t$$

$$\left(\begin{bmatrix} \left(-\frac{4\mu}{3l} - \frac{3\rho v}{6} \right) & \left(\frac{8\mu}{3l} + \frac{4\rho v}{6} \right) & \left(-\frac{4\mu}{3l} - \frac{\rho v}{6} \right) \\ \left(-\frac{16\mu}{3l} + \frac{4\rho v}{6} \right) & \left(\frac{32\mu}{3l} \right) & \left(-\frac{16\mu}{3l} + \frac{4\rho v}{6} \right) \\ \left(-\frac{4\mu}{3l} + \frac{\rho v}{6} \right) & \left(\frac{8\mu}{3l} - \frac{4\rho v}{6} \right) & \left(-\frac{4\mu}{3l} + \frac{3\rho v}{6} \right) \end{bmatrix} + \frac{2}{\Delta t} \begin{bmatrix} \frac{4\rho l}{30} & \frac{2\rho l}{30} & -\frac{\rho l}{30} \\ \frac{2\rho l}{30} & \frac{16\rho l}{30} & \frac{2\rho l}{30} \\ -\frac{\rho l}{30} & \frac{2\rho l}{30} & \frac{4\rho l}{30} \end{bmatrix} \right) \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{pmatrix}_{t+\Delta t} = 2 \begin{bmatrix} P - \rho g \\ 0 \\ -P + \rho g \end{bmatrix}$$

$$- \left(\begin{bmatrix} \left(-\frac{4\mu}{3l} - \frac{3\rho v}{6} \right) & \left(\frac{8\mu}{3l} + \frac{4\rho v}{6} \right) & \left(-\frac{4\mu}{3l} - \frac{\rho v}{6} \right) \\ \left(-\frac{16\mu}{3l} + \frac{4\rho v}{6} \right) & \left(\frac{32\mu}{3l} \right) & \left(-\frac{16\mu}{3l} + \frac{4\rho v}{6} \right) \\ \left(-\frac{4\mu}{3l} + \frac{\rho v}{6} \right) & \left(\frac{8\mu}{3l} - \frac{4\rho v}{6} \right) & \left(-\frac{4\mu}{3l} + \frac{3\rho v}{6} \right) \end{bmatrix} + \frac{2}{\Delta t} \begin{bmatrix} \frac{4\rho l}{30} & \frac{2\rho l}{30} & -\frac{\rho l}{30} \\ \frac{2\rho l}{30} & \frac{16\rho l}{30} & \frac{2\rho l}{30} \\ -\frac{\rho l}{30} & \frac{2\rho l}{30} & \frac{4\rho l}{30} \end{bmatrix} \right) \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{pmatrix}_t$$

Setelah mendapatkan model persamaan matematika pada penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok dengan metode elemen hingga, maka dapat dibentuk solusi numerik dalam program MATLAB. Selanjutnya, program dieksekusi dengan mensubstitusikan nilai koefisien yang diketahui pada proses simulasi aliran udara, maka program bisa dijalankan.

Dalam penelitian ini dilakukan dua kali tahap simulasi program Matlab. Simulasi pertama dilakukan untuk mengetahui pengaruh ukuran jari-jari saluran pernapasan terhadap kecepatan aliran udara pada daerah penyempitan saluran akibat penyakit gondok. Simulasi kedua dilakukan untuk mengetahui pengaruh ukuran kecepatan awal terhadap kecepatan aliran udara pada daerah penyempitan saluran akibat penyakit gondok. Adapun langkah-langkah untuk menjalankan program MATLAB, yaitu sebagai berikut :

○ **Kecepatan Aliran Udara pada Penyempitan Saluran Pernapasan yang Dipengaruhi oleh Ukuran Jari-Jari Saluran Pernapasan**

1. Pilih menu **File >> New >> M-File**
2. Selanjutnya muncul *Editor Worksheet* dan ketiklah program berikut :

```

clear all;
clc;
disp('-----');
disp('                SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN UDARA                ');
disp('    PADA PENYEMPITAN SALURAN PERNAPASAN AKIBAT PENYAKIT GONDOK    ');
disp('                dipengaruhi oleh ukuran jari-jari saluran pernapasan                ');
disp('                Oleh :                ');
disp('                SITI AISYAH                ');
disp('                NIM 130210101077                ');
disp('-----');
%Persamaan momentum
N=input('masukkan banyak diskritisasi = ');
v=input('masukkan kecepatan awal = ');
if v<0
    msgbox('v tidak boleh kurang dari 0 ');
    return;
end
r1=0.015;                %jari-jari saluran pernapasan
r2=0.020;                %jari-jari saluran pernapasan
r3=0.025;                %jari-jari saluran pernapasan
rho=1.34;                %massa jenis
D=7.5;                %debit aliran
eta=1.725*10^-7;                %kekentalan zat
miu=0.15*10^-5;                %koefisien gesek
l=(N-1)*0.1;                %panjang benda
g=9.8;                %gaya gravitasi
P1=8*D*eta*(pi*r1^4);                %tekanan
P2=8*D*eta*(pi*r2^4);                %tekanan
P3=8*D*eta*(pi*r3^4);                %tekanan
ng=2*N+l;
%disp(['Banyaknya node global y:',num2str(ng)]);
t=input('masukkan waktu = ');
dt=l;
    
```

```

%Matriks
Alkcl=[(-4*miu/(3^1)-(3*rho*v/6)) (8*miu/(3^1)+(4*rho*v/6)) (-4*miu/(3^1)-(rho*v/6))
      (-16*miu/(3^1)-(4*rho*v/6)) (32*miu/3^1) (-16*miu/(3^1)+(4*rho*v/6))
      (-4*miu/(3^1)+(rho*v/6)) (8*miu/(3^1)-(4*rho*v/6)) (-4*miu/(3^1)+(3*rho*v/6))];
Albsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
for i=0:N-1;
    Albsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=Albsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+Alkcl;
end
Blkcl=[4*1*rho/30 2*1*rho/30 -1*1*rho/30
      2*1*rho/30 16*1*rho/30 2*1*rho/30
      -1*1*rho/30 2*1*rho/30 4*1*rho/30];
Blbsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
for i=0:N-1;
    Blbsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=Blbsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+Blkcl;
end
r1_old=zeros(2*N+1,1);
r1_old(1,1)=2*(P1-rho*g);
r1_old(2*N+1,1)=2*(-P1+rho*g);
r1_all=r1_old;
r2_old=zeros(2*N+1,1);
r2_old(1,1)=2*(P2-rho*g);
r2_old(2*N+1,1)=2*(-P2+rho*g);
r2_all=r2_old;
r3_old=zeros(2*N+1,1);
r3_old(1,1)=2*(P3-rho*g);
r3_old(2*N+1,1)=2*(-P3+rho*g);
r3_all=r3_old;

%D adalah matriks di ruas kiri
D=Albsr+2/dt*Blbsr;
%E adalah matriks di ruas kanan
E=Albsr-2/dt*Blbsr;
r1_new=D\r1_old;
r1_all=[r1_all r1_new];
r1_old=r1_new;
r2_new=D\r2_old;
r2_all=[r2_all r2_new];

```

```

r2_old=r2_new;
r3_new=D\r3_old;
r3_all=[r3_all r3_new];
r3_old=r3_new;

%Penyelesaian dalam waktu
for i=1:t
    r1_new=D\(-E*r1_old);
    r1_all=[r1_all r1_new];
    r1_old=r1_new;
    r2_new=D\(-E*r2_old);
    r2_all=[r2_all r2_new];
    r2_old=r2_new;
    r3_new=D\(-E*r3_old);
    r3_all=[r3_all r3_new];
    r3_old=r3_new;
end

figure;
plot(mean(r1_all),'-ob')
hold on;
plot(mean(r2_all),'-or')
hold on;
plot(mean(r3_all),'-og')
hold on;
title('Program Simulasi Aliran Udara Dipengaruhi Oleh Ukuran Jari-Jari Saluran Pernapasan'...
    'color',[0 0 1],'fontweight','bold','fontsize',14);
xlabel('Panjang Saluran Pernapasan','color',[0 0 1]...
    'fontweight','bold','fontsize',12);
ylabel('Kecepatan Aliran Udara','color',[0 0 1]...

```

3. Setelah selesai mengetik program diatas, simpan di direktori **c:\MATLAB7\Work** dengan nama **jari2.m**.
4. Sebelum menjalankan program, pastikan file yang Anda simpan sudah terdapat di dalam daftar pencarian direktori MATLAB. Lalu ketiklah nama *file jari2* tanpa ekstensi pada *command window*.

```
>> jari2
```

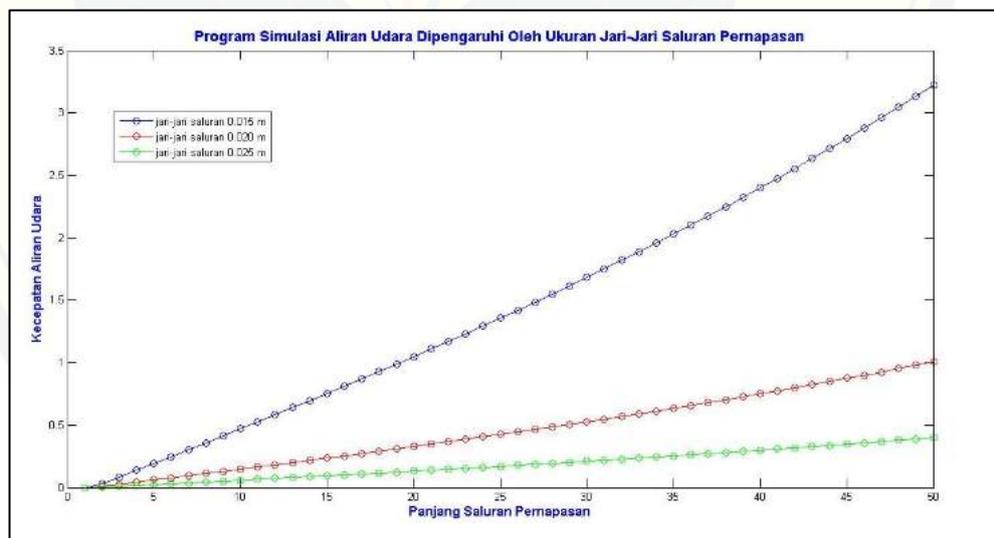
5. Tekan *Enter*, selanjutnya program akan dijalankan. Berturut-turut masukkan nilai diskritisasi lalu *Enter*, kemudian masukkan nilai kecepatan awal lalu *Enter* dan masukkan nilai waktu lalu *Enter*.

```

Command Window
File Edit Debug Desktop Window Help
-----
SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN UDARA
PADA PENYEMPITAN SALURAN PERNAPASAN AKIBAT PENYAKIT GONDOK
dipengaruhi oleh ukuran jari-jari saluran pernapasan
Menggunakan Metode Biasa
Oleh :
SITI AISYAH
NIM 130210101077
-----
masukkan banyak diskritisasi = 351
masukkan kecepatan awal = 0.4
masukkan waktu = |
    
```

Gambar 3.1 Tampilan *Command Window* kecepatan aliran yang dipengaruhi oleh ukuran jari-jari saluran pernapasan

6. Selanjutnya akan menghasilkan grafik berikut



Gambar 3.2 Grafik kecepatan aliran udara dengan ukuran jari-jari saluran 0.015 m, 0.020 m dan 0.025 m

o **Kecepatan Aliran Udara pada Penyempitan Saluran Pernapasan yang Dipengaruhi oleh Kecepatan Awal**

1. Pilih menu **File >> New >> M-File**
2. Selanjutnya muncul *Editor Worksheet* dan ketiklah program berikut :

```

clear all;
clc;
disp('-----');
disp('                SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN UDARA                ');
disp('    PADA PENYEMPITAN SALURAN PERNAPASAN AKIBAT PENYAKIT GONDOK    ');
disp('                dipengaruhi oleh kecepatan awal                ');
disp('                Oleh :                ');
disp('                SITI AISYAH                ');
disp('                NIM 130210101077                ');
disp('-----');
%Persamaan momentum
N=input('masukkan banyak diskritisasi = ');
r=input('masukkan jari-jari saluran = ');
if r<0
    msgbox('r tidak boleh kurang dari 0 ');
    return;
end
v1=0.2;                %kecepatan awal
v2=0.4;                %kecepatan awal
v3=0.6;                %kecepatan awal
rho=1.34;                %massa jenis
D=7.5;                %debit aliran
eta=1.725*10^-7;                %kekentalan zat
miu=0.15*10^-5;                %koefisien gesek
l=(N-1)*0.1;                %panjang benda
g=9.8;                %gaya gravitasi
P=8*D*eta*I/(pi*r^4);                %tekanan
ng=2*N+1;
%disp(['Banyaknya node global y:',num2str(ng)]);
t=input('masukkan waktu = ');
dt=1;
    
```

%Matriks

```

Alkcl=[(-4*miu/(3^i)-(3*rho*vl/6)) (8*miu/(3^i)+(4*rho*vl/6)) (-4*miu/(3^i)-(rho*vl/6))
      (-16*miu/(3^i)-(4*rho*vl/6)) (32*miu/3^i) (-16*miu/(3^i)+(4*rho*vl/6))
      (-4*miu/(3^i)+(rho*vl/6)) (8*miu/(3^i)-(4*rho*vl/6)) (-4*miu/(3^i)+(3*rho*vl/6)];
A2kcl=[(-4*miu/(3^i)-(3*rho*v2/6)) (8*miu/(3^i)+(4*rho*v2/6)) (-4*miu/(3^i)-(rho*v2/6))
      (-16*miu/(3^i)-(4*rho*v2/6)) (32*miu/3^i) (-16*miu/(3^i)+(4*rho*v2/6))
      (-4*miu/(3^i)+(rho*v2/6)) (8*miu/(3^i)-(4*rho*v2/6)) (-4*miu/(3^i)+(3*rho*v2/6)];
A3kcl=[(-4*miu/(3^i)-(3*rho*v3/6)) (8*miu/(3^i)+(4*rho*v3/6)) (-4*miu/(3^i)-(rho*v3/6))
      (-16*miu/(3^i)-(4*rho*v3/6)) (32*miu/3^i) (-16*miu/(3^i)+(4*rho*v3/6))
      (-4*miu/(3^i)+(rho*v3/6)) (8*miu/(3^i)-(4*rho*v3/6)) (-4*miu/(3^i)+(3*rho*v3/6)];
A1bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
A2bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
A3bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
for i=0:N-1
    A1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=A1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+Alkcl;
    A2bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=A2bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+A2kcl;
    A3bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=A3bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+A3kcl;
end
B1kcl=[4*1*rho/30 2*1*rho/30 -1*1*rho/30
      2*1*rho/30 16*1*rho/30 2*1*rho/30
      -1*1*rho/30 2*1*rho/30 4*1*rho/30];
B1bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
for i=0:N-1
    B1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=B1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+B1kcl;
end
r1_old=zeros(2*N+1,1);
r1_old(1)=2*(P-rho*g);
r1_old(2*N+1)=2*(-P+rho*g);
r1_all=r1_old;
r2_old=zeros(2*N+1,1);
r2_old(1)=2*(P-rho*g);
r2_old(2*N+1)=2*(-P+rho*g);
r2_all=r2_old;
r3_old=zeros(2*N+1,1);
r3_old(1)=2*(P-rho*g);
r3_old(2*N+1)=2*(-P+rho*g);
r3_all=r3_old;

```

```

%D adalah matriks di ruas kiri
D1=A1bsr+2/dt*B1bsr;
D2=A2bsr+2/dt*B1bsr;
D3=A3bsr+2/dt*B1bsr;
%E adalah matriks di ruas kanan
E1=A1bsr-2/dt*B1bsr;
E2=A3bsr-2/dt*B1bsr;
E3=A3bsr-2/dt*B1bsr;
r1_new=D1\r1_old;
r1_all=[r1_all r1_new];
r1_old=r1_new;
r2_new=D2\r2_old;
r2_all=[r2_all r2_new];
r2_old=r2_new;
r3_new=D3\r3_old;
r3_all=[r3_all r3_new];
r3_old=r3_new;

%Penyelesaian dalam waktu
for i=1:t
    r1_new=D1\(-E1*r1_old);
    r1_all=[r1_all r1_new];
    r1_old=r1_new;
    r2_new=D2\(-E2*r2_old);
    r2_all=[r2_all r2_new];
    r2_old=r2_new;
    r3_new=D3\(-E3*r3_old);
    r3_all=[r3_all r3_new];
    r3_old=r3_new;
end

figure;
plot(mean(r1_all),'-ob');
hold on;
plot(mean(r2_all),'-or');
hold on;
plot(mean(r3_all),'-og');
hold on;
    
```

```
title('Program Simulasi Aliran Udara Dipengaruhi oleh Kecepatan Awal'...
    'color',[0 0 1],'fontweight','bold','fontsize',14);
xlabel('Panjang Saluran Pernapasan','color',[0 0 1]...
    'fontweight','bold','fontsize',12);
ylabel('Kecepatan Aliran Udara','color',[0 0 1]...
    'fontweight','bold','fontsize',12);
```

3. Setelah selesai mengetik program diatas, simpan di direktori **c:\MATLAB7\Work** dengan nama **kecepatan.m**.
4. Sebelum menjalankan program, pastikan file yang Anda simpan sudah terdapat di dalam daftar pencarian direktori MATLAB. Lalu ketiklah nama **file kecepatan** tanpa ekstensi pada *command window*.

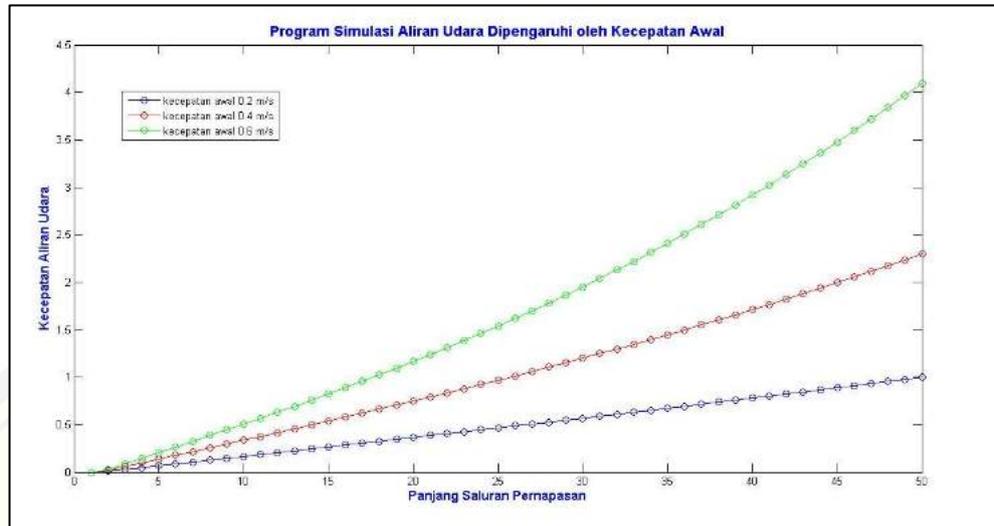
```
>> kecepatan
```

5. Tekan *Enter*, selanjutnya program akan dijalankan. Berturut-turut masukkan nilai diskritisasi lalu *Enter*, kemudian masukkan nilai jari-jari saluran lalu *Enter* dan masukkan nilai waktu lalu *Enter*.

```
Command Window
File Edit Debug Desktop Window Help
-----
SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN UDARA
PADA PENYEMPITAN SALURAN PERNAPASAN AKIBAT PENYAKIT GONDOK
dipengaruhi oleh kecepatan awal
Menggunakan Metode Biasa
Oleh :
SITI AISYAH
NIM 130210101077
-----
masukkan banyak diskritisasi = 351
masukkan jari-jari saluran = 0.01631
masukkan waktu = |
```

Gambar 3.3 Tampilan *Command Window* kecepatan aliran yang dipengaruhi oleh kecepatan awal

6. Selanjutnya akan menghasilkan grafik berikut



Gambar 3.4 Grafik kecepatan aliran udara yang dipengaruhi oleh kecepatan awal 0.2 m/s, 0.4 m/s dan 0.6 m/s

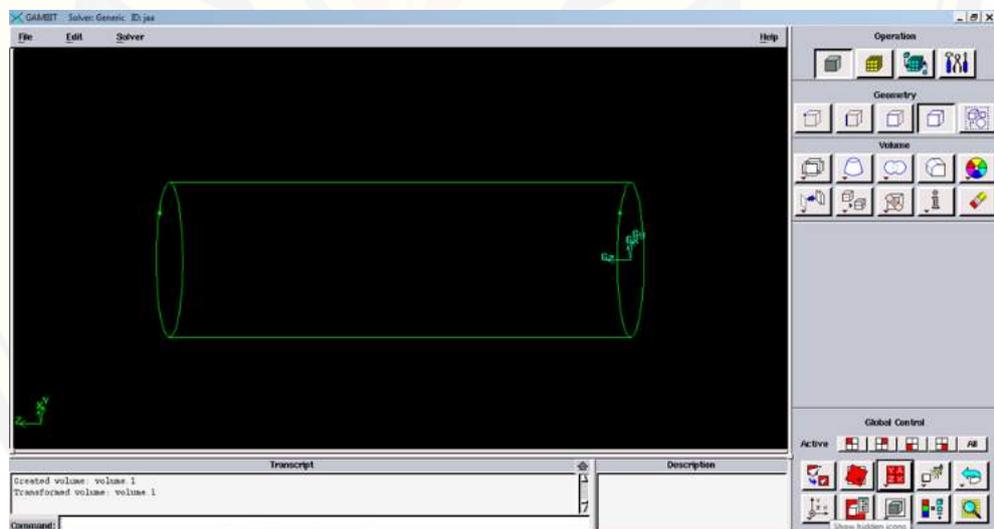


BAB 4. SIMULASI FLUENT

Pada hasil simulasi dengan FLUENT akan disajikan gambar daerah penyempitan saluran pernapasan akibat penyakit gondok yang meliputi *velocity* kecepatan aliran udara. Gambar yang akan disimulasikan menggunakan FLUENT terlebih dahulu didesain menggunakan program GAMBIT dengan ukuran jari-jari saluran yang berbeda. Simulasi yang digunakan berupa simulasi 3D (3 Dimensi).

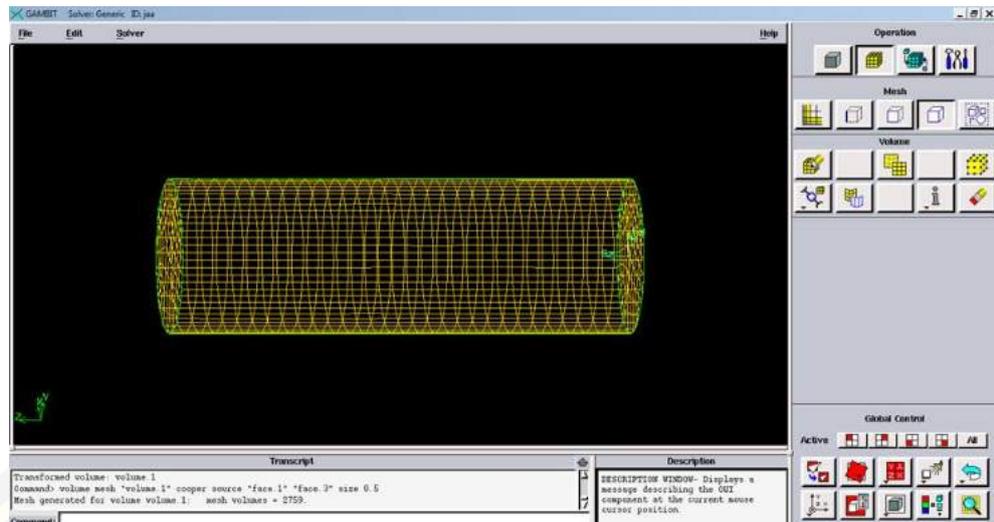
Adapun langkah-langkah untuk membuat desain gambar pada GAMBIT adalah sebagai berikut :

1. Buka program GAMBIT kemudian klik Menu **File >> New**
2. Selanjutnya isilah ID pada *toolboxes* yang tersedia. ID tersebut akan disimpan sebagai nama file. Misalkan ID tersebut kita isi dengan **jari25**
3. Kemudian buatlah desain geometri dari simulasi saluran pernapasan yang akan diteliti, seperti gambar berikut.



Gambar 4.1 Desain GAMBIT saluran pernapasan pada kondisi normal dengan jari-jari saluran 0.025 m

4. Selanjutnya klik menu **Solver >> FLUENT 5/6**
5. Kemudian *mesh* gambar tersebut menggunakan *mesh volume* (3Dimensi)



Gambar 4.2 *Mesh* saluran pernapasan pada kondisi normal dengan jari-jari saluran 0.025 m

6. Selanjutnya mendefinisikan tiap bagian sebagai *wall*, *input* dan *output*
7. Kemudian klik Menu **File >> Save**
8. *Export* gambar tersebut ke dalam format *mesh* yaitu dengan klik Menu **File >> Export >> Mesh >> Accept**. File akan tersimpan sebagai **jari25.msh**

Setelah membuat desain geometri dari saluran pernapasan, maka akan dilanjutkan dengan simulasi FLUENT. Adapun langkah-langkah simulasi FLUENT sebagai berikut :

1. Sebelum melakukan simulasi, langkah pertama adalah pilih versi FLUENT yang akan digunakan.
 - 2d : dua dimensi *single precision*
 - 2ddp : dua dimensi *double precision*
 - 3d : tiga dimensi *single precision*
 - 3ddp : tiga dimensi *double precision*

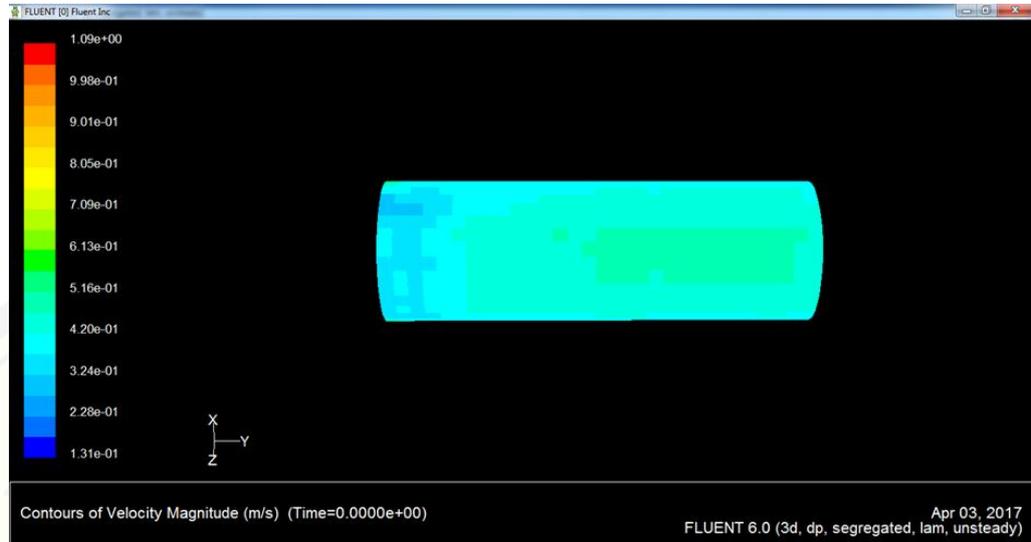
Perbedaan *single precision* dan *double precision* adalah untuk *double precision* lebih presisi. Presisi menunjukkan seberapa dekat perbedaan nilai pada saat dilakukan pengulangan pengukuran.

Pada simulasi ini versi FLUENT yang digunakan adalah 3ddp karena, desain geometri yang digunakan berupa 3D (3 Dimensi).

2. Selanjutnya klik Menu **File >> Read >> Case**
3. Pilih file mesh GAMBIT yang akan disimulasikan, yaitu **jari25.msh**
4. Selanjutnya klik Menu **Grid >> Check**
5. Kemudian klik Menu **Grid >> Smooth/Swap >> Smooth dan Swap**
6. Selanjutnya adalah mendefinisikan model yang akan disimulasikan yaitu :
 - Pilih Menu **Define >> Models >> Solver** , pada *frame Time* pilih jenis aliran **Steady atau Unsteady**. Simulasi ini menggunakan **Unsteady**
 - Kemudian Menu **Define >> Models >> Viscous**, pastikan pada *frame Model*, yang dipilih adalah **Laminar**.
7. Selanjutnya tahap pendefinisian material fluida. Klik **Define >> Material**, Pada *pop up menu Fluid Material* pilih material fluidanya, simulasi ini menggunakan udara (*air*) maka Anda tidak perlu memilih material fluida karena *air* sudah *Default* dari program ini. Selanjutnya langsung klik **Change/Create**.
8. Setelah itu pendefinisian *boundary condition*. Klik Menu **Define >> Boundary Condition**. Pada tahap ini, yaitu memasukkan nilai-nilai yang akan digunakan pada simulasi, seperti nilai kecepatan, suhu, tekanan, dan lain-lain.
9. Selanjutnya klik Menu **Solve >> Inialitize >> Inialitize**, pada *frame Initial Values* masukkan nilai tekanan awal, kecepatan sumbu x, y dan z. Kemudian klik **Init**.
10. Kemudian klik Menu **Solve >> Monitors >> Residual**, pada *checkboxes Option* pastikan **Print** dan **Plot** sudah terpilih, kemudian klik **OK**
11. Kemudian klik Menu **Solve >> Iterate, Number of iterations** diisi sesuai dengan iterasi yang dipakai, kemudian **Iterate**
12. Selanjutnya klik Menu **Display >> Contour**.
 - Pada *checkboxes Options* pilih **Filled, Node Values, Global Range** dan **Auto Range**
 - Pada *pop up menu Contours Of* pilih **Velocity**, karena yang akan disimulasikan adalah kecepatan aliran

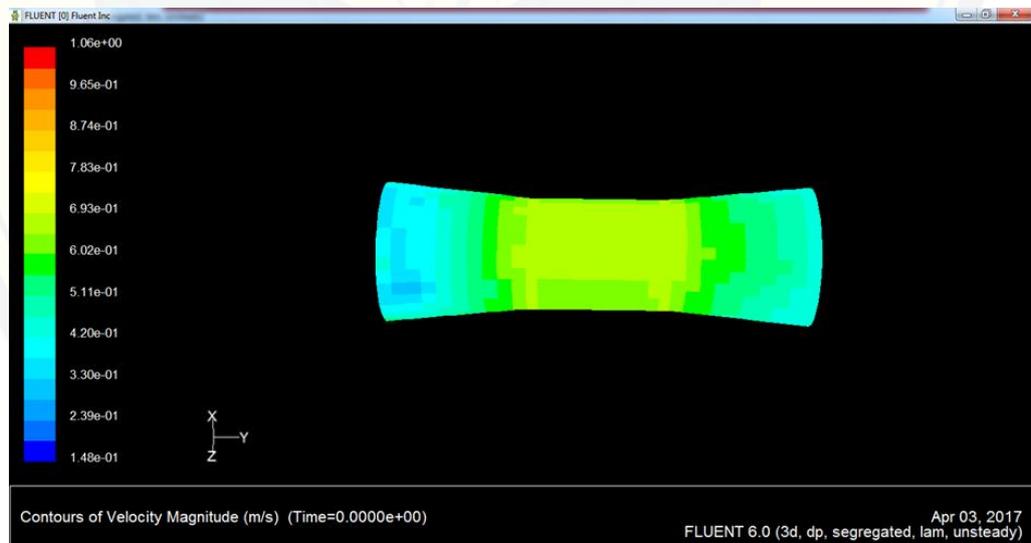
- Pada *frame* **Surfaces** pilih semua yang ada pada *frame* tersebut
Kemudian klik **Display**.

13. Kemudian akan muncul gambar berikut

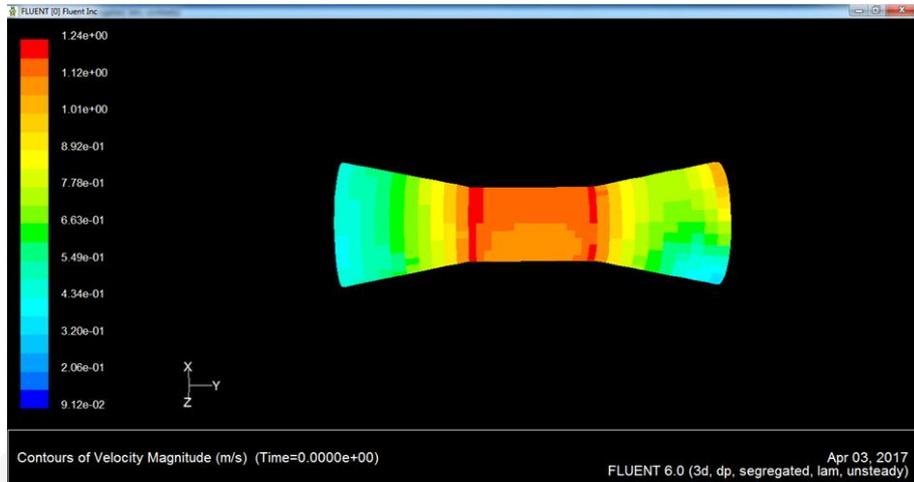


Gambar 4.3 Simulasi kecepatan aliran udara saluran pernapasan dalam kondisi normal jari-jari 0.025 m

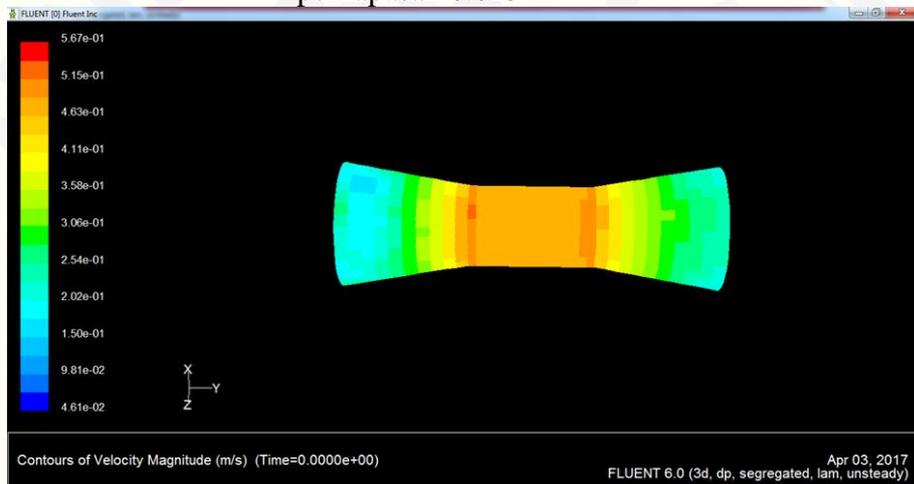
Beberapa contoh lain dengan ukuran jari-jari dan kecepatan awal yang berbeda, sebagai berikut :



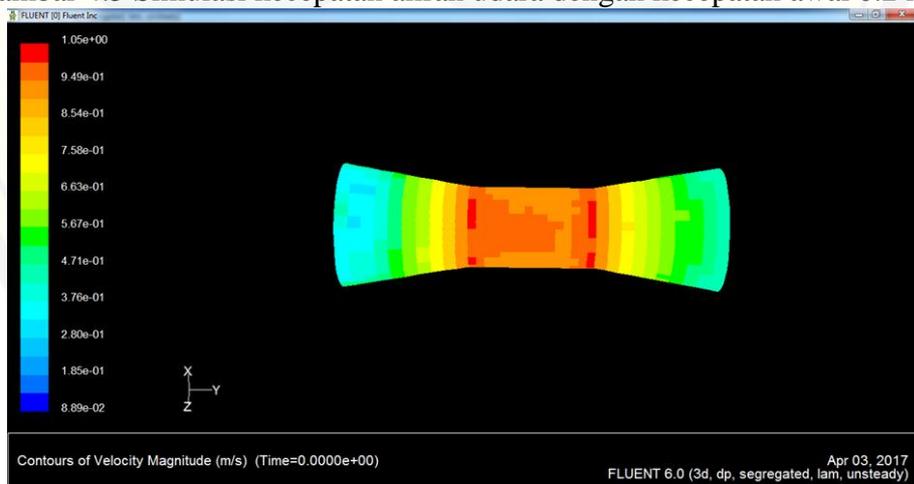
Gambar 4.4 Simulasi kecepatan aliran udara dengan jari-jari saluran pernapasan 0.020 m



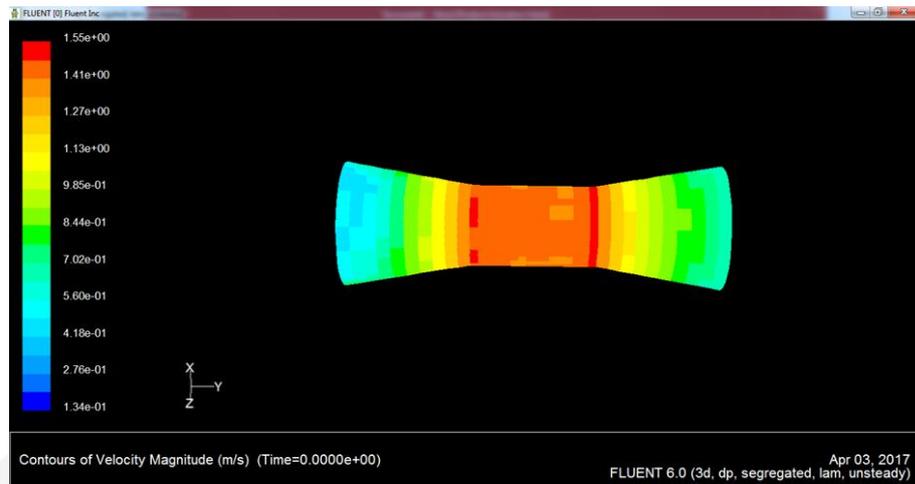
Gambar 4.4 Simulasi kecepatan aliran udara dengan jari-jari saluran pernapasan 0.015 m



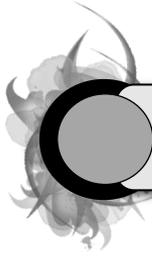
Gambar 4.5 Simulasi kecepatan aliran udara dengan kecepatan awal 0.2 m/s



Gambar 4.6 Simulasi kecepatan aliran udara dengan kecepatan awal 0.4 m/s



Gambar 4.7 Simulasi kecepatan aliran udara dengan kecepatan awal 0.6 m/s



DAFTAR PUSTAKA

- Djojodibroto, Darmanto. 2009. *Respirologi (Respiratory Medicine)*. Jakarta: EGC
- Fatahillah, Arif. (April, 2010). *Pemodelan dan Penyelesaian Numerik dari Permasalahan Korosi Besi yang Didasarkan pada Sifat Kimia Larutan*. KadikMa, No. 1, Vol. 2, hal 71-80
- Fatahillah, Arif. 2011. *Buku Pegangan Mata Kuliah Mathematical Modelling Computational Fluid Dynamics*. Jember : FKIP
- Hardiyanti, Dafik, Arif. (Agustus, 2015). *Analisis Kecepatan Aliran Hidrogen Peroksida (H_2O_2) pada Sterilisasi Saluran Akar Gigi Menggunakan Metode Numerik Volume Hingga*. KadikMa, No. 2, Vol. 6, hal 13-26
- J. F. Lee dan J. W. Leonard. (Oktober, 1988) *A finite element model of wave structure interactions in the time domain*. Eng. Struct, Vol.10, hal 229-238
- Kusminarto. 2007. *Fisika: Penerapannya dalam Bidang Medis*. Yogyakarta: UGM
- Pralhad and Schultz. (Mei, 2004). *Modeling of arterial stenosis and its applications to blood diseases*. Elsevier Inc.: Mathematical Biosciences, vol. 190, hal 203-220
- Qoriatul, Arif, Dafik, Nurcholif. (April, 2013). *Analisis Model Matematika Pertukaran Panas Pada Fluida di Heat Exchanger Tipe Shell And Tube Yang Digunakan di PT. Pupuk Kaltim Tbk..* KadikMa, No. 1, Vol. 4, hal 7-14
- White, Frank M. 1986. *Mekanika Fluida*. Jakarta: Erlangga



GLOSARIUM

- CFD : *Computational Fluid Dynamic* dapat diartikan suatu teknologi komputasi yang digunakan untuk mempelajari dan sebagai alat untuk menganalisa fenomena dinamika fluida seperti aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, aliran multifasa, interaksi fluida dengan struktur dan sistem akustik, interaksi fluida dan solid.
- FLUENT : salah satu jenis program CFD yang menyediakan fleksibilitas *mesh* yang lengkap sehingga dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan *mesh* (grid) yang tidak terstruktur sekalipun.
- GAMBIT : *Geometry and Mesh Building Intelligent toolkit* merupakan salah satu *preprocessor* yang didesain untuk membantu membuat model dan melakukan diskritisasi (*meshing*) pada model analisis CFD.
- MATLAB : *Matrix Laboratory* merupakan *software* yang digunakan untuk analisis dan komputasi data numerik. Bahasa pemrograman yang digunakan merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi berbasis pada matriks.



LEMBAR REVISI SKRIPSI

NAMA MAHASISWA : SITI AISYAH
 NIM : 130210101077
 JUDUL SKRIPSI : Analisis Numerik Aliran Udara pada Penyempitan Saluran Pernapasan Akibat Penyakit Gondok Menggunakan Metode Elemen Hingga sebagai Monograf
 TANGGAL UJIAN : 21 Maret 2017
 PEMBIMBING : Prof. Drs. Dafik, M.Sc. Ph.D.
 Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.

MATERI PEMBETULAN / PERBAIKAN

No.	HALAMAN	HAL-HAL YANG HARUS DIPERBAIKI
1.	viii	Perbaikan kesimpulan hasil penelitian pada ringkasan
2.	3	Perbaikan pada rumusan permasalahan 1. terkait penggunaan metode elemen hingga
3.	3	Penambahan viskositas zat diabaikan pada batasan masalah
4.	4	Penambahan kebaruaran penelitian
5.	16	Penggantian simbol dari matriks kekakuan
6.	40-43	Perbaikan tulisan terkait persamaan momentum
7.	61	Penambahan analisis pembahasan kaitannya dengan kesehatan
8.	62-66	Perbaikan gambar simulasi FLUENT
9.	67-68	Perbaikan kesimpulan

PERSETUJUAN TIM PENGUJI

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

Jember, 06 April 2017
Mengetahui / menyetujui :

Dosen Pembimbing I,

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

Dosen Pembimbing II,

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

Mahasiswa Yang Bersangkutan

Siti Aisyah
NIM. 130210101077

Mengetahui,
Ketua Jurusan P.MIPA

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