



**ANALISIS NUMERIK ALIRAN DARAH PADA KATUP AORTA  
AKIBAT *AORTIC STENOSIS* MENGGUNAKAN  
METODE ELEMEN HINGGA UNTUK  
MENGASAH KEMAMPUAN TCK**

**SKRIPSI**

Oleh  
Novi Safitri  
NIM 140210101024

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

**2018**



**ANALISIS NUMERIK ALIRAN DARAH PADA KATUP AORTA  
AKIBAT *AORTIC STENOSIS* MENGGUNAKAN  
METODE ELEMEN HINGGA UNTUK  
MENGASAH KEMAMPUAN TCK**

**SKRIPSI**

Oleh

**Novi Safitri**

**NIM 140210101024**

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

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

Dosen Penguji 1 : Susi Setiawani, S.Si., M.Sc.

Dosen Penguji 2 : Drs. Toto' Bara Setiawan, M.Si.

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

**2018**

## 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. Ayahanda Saiful Hadi dan Ibunda Maksumah, yang tidak pernah putus mendoakan dan mengalirkan rasa cinta dan kasih sayang serta kakakku Fiter Sony Sanada dan Very Fernando 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 tercinta Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
5. Teman-teman seperjuangan Pemodelan Ratna Damayanti, Jimmy Purnomo, Arif Sapta, Firda Yulian dan Lilavati;
6. Teman-teman terdekatku Faris Adzkiaul Fikri, Ema Fahma, Natalia Ayu, Reza Rizaldy, Panca, teman Bestgirl (Meilinda, Novia, Firda, Mila, Maulida, Icha dan Umairatul), teman Neverend (Melvia, Rina dan Reni), teman RENYL (Ratna, Elvina, Yesi dan Maulida) dan teman Bonek (Frenza dan Cahyo);
7. Teman-teman Pendidikan Matematika FKIP Universitas Jember Angkatan 2014 (MATRIC);
8. Teman-teman penghuni Bernady Land (Olip, Andri, Bella, Dhea dan Mita);
9. Serta teman-teman tercinta yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

HALAMAN MOTTO

وَأَنْ لَّيْسَ لِلْإِنْسَانِ إِلَّا مَا سَعَى ﴿٣٩﴾

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

*"Life is like riding a bicycle. To keep your balance, you must keep moving."*

- Albert Einstein -

"Sesuatu yang belum dikerjakan seringkali tampak mustahil. Kita baru yakin kalau kita telah berhasil melakukannya dengan baik."

- Evelyn Underhill -

**HALAMAN PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Novi Safitri

NIM : 140210101024

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul ” *Analisis Numerik Aliran Darah pada Katup Aorta Akibat Aortic Stenosis Menggunakan Metode Elemen Hingga untuk Mengasah Kemampuan TCK*” 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, 27 Juli 2018

Yang menyatakan,

Novi Safitri

NIM. 140210101024

HALAMAN PENGANTAR

ANALISIS NUMERIK ALIRAN DARAH PADA KATUP AORTA  
AKIBAT *AORTIC STENOSIS* MENGGUNAKAN  
METODE ELEMEN HINGGA UNTUK  
MENGASAH KEMAMPUAN TCK

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 : Novi Safitri  
NIM : 140210101024  
Tempat, tanggal Lahir : Banyuwangi, 20 November 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 Darah pada Katup Aorta Akibat *Aortic Stenosis* Menggunakan Metode Elemen Hingga untuk Mengasah Kemampuan TCK telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan pada:

Hari : Jumat

Tanggal : 27 Juli 2018

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 Darah pada Katup Aorta Akibat *Aortic Stenosis* Menggunakan Metode Elemen Hingga untuk Mengasah Kemampuan TCK**; Novi Safitri, 140210101024; 2018: 74 halaman; Program Studi Pendidikan Matematika, Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

Matematika digunakan di seluruh dunia sebagai alat penting di kehidupan sehari-hari dan di berbagai bidang, salah satunya bidang kedokteran. Banyak cabang ilmu kedokteran yang mempelajari tentang struktur organ, fungsi organ, dan penyakit organ tubuh manusia. Organ tubuh manusia seperti jantung mempunyai fungsi dan peran penting bagi kelangsungan hidup yang harus selalu dijaga agar tetap bekerja secara optimal. Untuk mengoptimalkan kinerja jantung, setiap bagian jantung mempunyai peran dan fungsinya masing-masing. Salah satunya katup jantung yang berfungsi sebagai pengontrol atau pengendali aktivitas darah agar mengalir dengan aman pada satu arah aliran dan tidak mengalir ke arah yang salah. Hal ini sangat penting agar tidak terjadi aliran darah balik. Katup yang membutuhkan energi sangat besar adalah katup aorta. Banyak faktor yang dapat membuat kinerja katup tidak optimal, salah satunya kalsifikasi yang dapat menyebabkan penyempitan pada katup atau biasa disebut *aortic stenosis* (stenosis aorta).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui model matematika aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis*, menyelesaikan model menggunakan metode elemen hingga, menganalisis pengaruh luas area katup dan kecepatan awal terhadap kecepatan aliran darah pada daerah penyempitan, menganalisis pola kecepatan aliran darah pada daerah penyempitan dan untuk mengetahui efektivitas metode elemen hingga dalam menganalisis masalah aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis*.

Tahapan kegiatan penelitian meliputi: pertama, menentukan model matematika penyempitan aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis*. Tahapan ini meliputi studi pustaka tentang penyempitan aliran darah, kemudian

membuat 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 aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis* dengan MATLAB. Ketiga, melakukan simulasi dengan FLUENT untuk mengetahui pola kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis*.

Adapun hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Model matematika aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis* merupakan persamaan yang dinyatakan pada persamaan momentum. Berikut ini adalah persamaannya.

$$\frac{1}{R_p} \frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial C R_p R_d \phi_x}{\partial x} = (R_p + R_d) A \phi - \frac{\partial P}{\partial x} + \rho \frac{\partial g}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( 2\mu \left( \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) \right) \quad (1)$$

2. Pada aliran darah normal, kecepatan aliran cenderung konstan. tetapi ketika aliran darah mengalami *aortic stenosis*, maka kecepatan alirannya meningkat ketika aliran mendekati daerah penyempitan dan kecepatan aliran kembali seperti semula ketika menjauhi daerah penyempitan.
3. Pada penyempitan aliran darah katup aorta (*aortic stenosis*), kecepatan awal juga mempengaruhi besarnya peningkatan kecepatan aliran. Semakin besar kecepatan awal yang diberikan, maka semakin besar pula kecepatan di daerah penyempitan.
4. Persamaan penyempitan aliran darah katup aorta (*aortic stenosis*) adalah model yang efektif dalam menyelesaikan pengaruh luas area katup dan kecepatan awal terhadap kecepatan aliran udara didapatkan error relatif 0.0012243 dan 0.0017641 dengan tingkat toleransi kesalahan perhitungan 0.01.
5. Cara mengasah kemampuan TCK pada aliran darah katup aorta akibat *aortic stenosis* yaitu dengan menggunakan 5 indikator pada masing-masing kemampuan (TK dan CK) dimana setiap indikator rentang skornya 1-5 dan divalidasi oleh 5 validator.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Analisis Numerik Aliran Darah pada Katup Aorta Akibat *Aortic Stenosis* Menggunakan Metode Elemen Hingga untuk Mengasah Kemampuan TCK. 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 Penguji I dan Dosen Penguji II 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, 27 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
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
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
1.6 Kebaruan Penelitian .....	6
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1 Pemodelan Matematika .....	7
2.2 CFD ( <i>Computational Fluid Dynamics</i> ) .....	8
2.3 Perangkat Lunak CFD .....	10
2.3.1 GAMBIT .....	14
2.3.2 FLUENT.....	14
2.4 Metode Elemen Hingga .....	15
2.4.1 Persamaan Momentum .....	18
2.5 Algoritma dan Pemrograman MATLAB .....	18

2.5.1	Algoritma dan Pemrograman.....	18
2.5.2	MATLAB 7.0 .....	19
2.5.3	Metode Gauss Seidel .....	20
2.5.4	Galat atau <i>Error</i> .....	24
<b>2.6</b>	<b>Aliran Darah .....</b>	<b>26</b>
2.6.1	Darah .....	26
2.6.2	Pembuluh Darah .....	27
2.6.3	Aliran Darah .....	28
<b>2.7</b>	<b>Katup Aorta .....</b>	<b>30</b>
<b>2.8</b>	<b><i>Aortic Steosis</i> .....</b>	<b>31</b>
<b>2.9</b>	<b><i>TCK (Technological and Content Knowledge)</i> .....</b>	<b>33</b>
<b>BAB 3.</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>35</b>
3.1	Jenis Penelitian .....	35
3.2	Tempat Penelitian .....	35
3.3	Prosedur Penelitian .....	35
3.4	Definisi Operasional.....	36
3.5	Metode Pengumpulan Data.....	38
3.6	Data dan Analisis Data .....	39
3.7	Instrumen Validasi .....	40
3.8	Metode Analisis Validasi.....	40
<b>BAB 4.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>43</b>
4.1	Persamaan Momentum <i>Aortic Stenosis</i> .....	43
4.2	Penurunan Persamaan Elemen .....	45
4.2.1	Penyusunan Matriks Global .....	51
4.3	Penyelesaian dalam Waktu .....	54
4.4	Efektivitas Metode Elemen Hingga dengan Menggunakan <i>Error Relatif</i> dalam Analisis Simulasi Aliran Darah pada Katup Aorta Akibat <i>Aortic Stenosis</i> .	56
4.4.1	Format <i>Programming</i> .....	56
4.4.2	Penggunaan <i>Error Relatif</i> pada Metode Elemen Hingga...	58
4.4.3	Simulasi Pemodelan.....	59

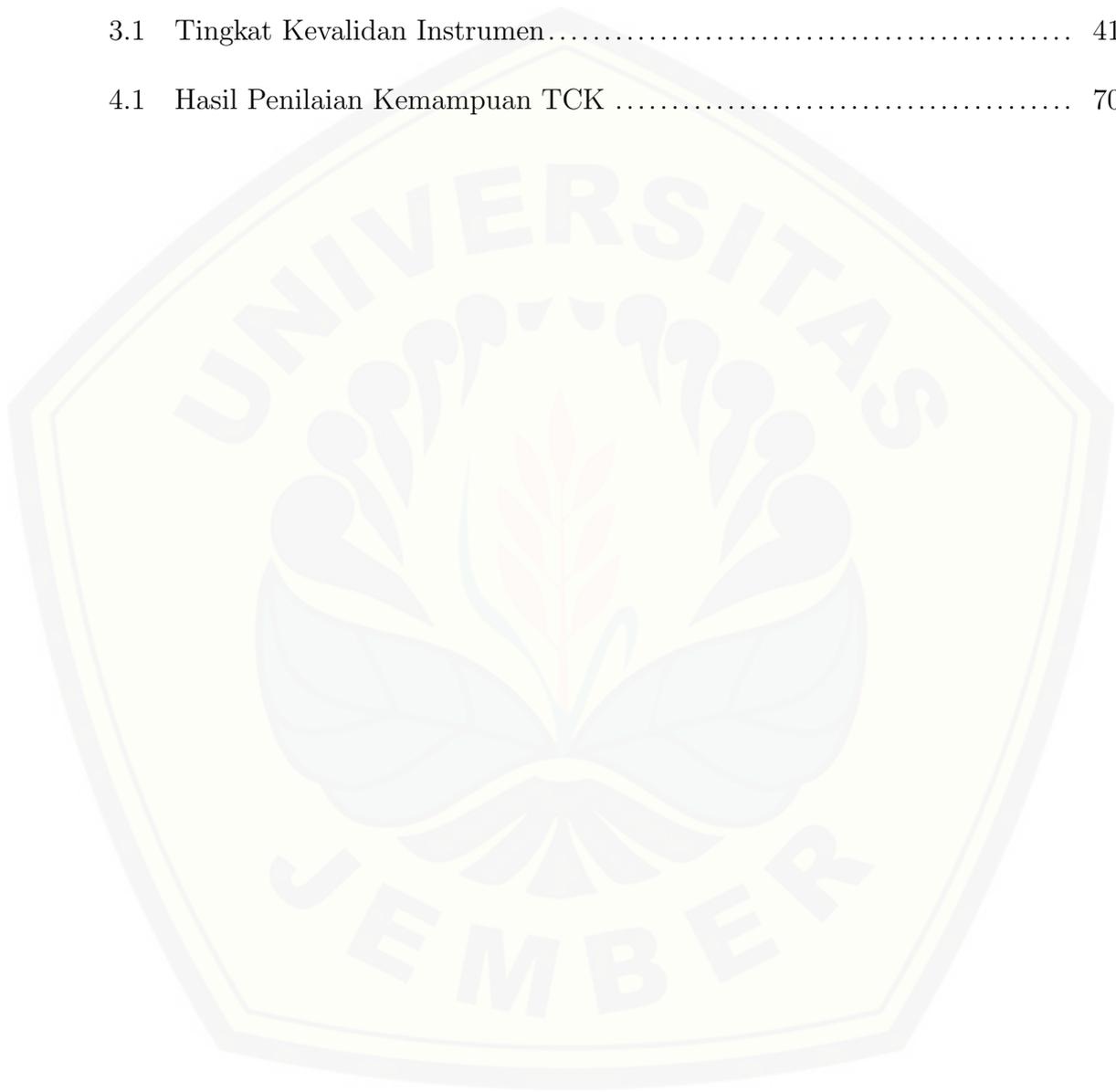
4.5 Simulasi Program dan Analisisnya .....	60
4.5.1 Komputasi MATLAB .....	60
4.5.2 Visualisasi Simulasi FLUENT .....	65
4.5.3 Analisis Cara Mengasah Kemampuan TCK.....	69
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>72</b>
<b>5.1 Kesimpulan .....</b>	<b>72</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>73</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>74</b>
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b>	
<b>A. Format <i>Programming</i> MATLAB .....</b>	<b>77</b>
<b>B. Hasil Simulasi MATLAB dengan Metode Eksak .....</b>	<b>101</b>
<b>C. Hasil Simulasi MATLAB dengan Metode Gauss-Seidel.....</b>	<b>107</b>
<b>D. Matrik Penelitian .....</b>	<b>113</b>
<b>E. Pedoman Validasi .....</b>	<b>115</b>
<b>F. Lembar Analisis Hasil Validasi .....</b>	<b>118</b>

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Tampilan GAMBIT .....	14
2.2 Tampilan FLUENT .....	14
2.3 Tampilan MATLAB .....	19
2.4 Pembuluh Darah .....	28
2.5 Aliran darah .....	29
2.6 Anatomi Jantung .....	30
2.7 Penyakit <i>Aortic Stenosis</i> .....	32
3.1 Bagan Alur Penelitian .....	42
4.1 diagram alir untuk aliran darah katup aorta .....	43
4.2 Grafik kecepatan aliran darah yang dipengaruhi oleh luas area .....	61
4.3 Grafik kecepatan aliran darah dengan luas area katup $0.0001\ m^2$ , .....	61
4.4 Grafik kecepatan aliran darah dengan luas area katup $0.0001\ m^2$ , .....	62
4.5 Grafik kecepatan aliran darah yang dipengaruhi oleh kecepatan awal ...	63
4.6 Grafik kecepatan aliran darah yang dipengaruhi oleh kecepatan awal ...	63
4.7 Grafik kecepatan aliran darah yang dipengaruhi oleh kecepatan awal ...	64
4.8 Desain saluran katup aorta menggunakan GAMBIT .....	65
4.9 Simulasi kecepatan aliran darah pada katup aorta .....	66
4.10 Simulasi kecepatan aliran darah pada katup aorta .....	66
4.11 Simulasi kecepatan aliran darah pada katup aorta .....	67
4.12 Simulasi kecepatan aliran darah dengan kecepatan awal 2.5 m/s .....	68
4.13 Simulasi kecepatan aliran darah dengan kecepatan awal 1 m/s .....	68
4.14 Simulasi kecepatan aliran darah dengan kecepatan awal 0.5 m/s .....	69

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Penelitian Murni Penggunaan CFD .....	10
3.1 Tingkat Kevalidan Instrumen.....	41
4.1 Hasil Penilaian Kemampuan TCK .....	70



DAFTAR LAMBANG



$[A]$	=	matriks kekakuan
$\{u\}$	=	vektor kolom
$R_p$	=	resisten proksimal
$R_d$	=	resisten distal
$D$	=	debit aliran
$P$	=	tekanan
$A$	=	luas area katup aorta
$r$	=	jari-jari saluran
$\eta$	=	kekentalan
$\mu$	=	koefisien gesek
$\rho$	=	massa jenis
$\tau$	=	tegangan
$g$	=	gravitasi
$x$	=	sumbu $x$
$t$	=	waktu
$v$	=	kecepatan

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Matematika adalah ilmu dasar yang berperan penting bagi kehidupan. Beberapa ahli mendefinisikan matematika berbeda-beda. Menurut Carl Friedrich Gauss (Roswati: 2015), matematika adalah ratunya ilmu pengetahuan yang artinya bahwa matematika adalah sumber dari ilmu lain dan perkembangannya tidak bergantung pada ilmu lain. Saat ini, matematika digunakan di seluruh dunia sebagai alat penting di kehidupan sehari-hari dan di berbagai bidang. Apalagi dengan perkembangan zaman dan teknologi yang semakin modern, banyak cabang matematika yang diterapkan dalam berbagai bidang, antara lain: bidang ekonomi, bidang fisika, bidang kimia, dan juga dalam bidang kedokteran.

Kedokteran adalah suatu ilmu dan seni yang mempelajari tentang penyakit dan cara penyembuhannya. Cabang ilmu kedokteran mempelajari tentang struktur organ, fungsi organ, dan penyakit organ tubuh manusia. Organ tubuh manusia mempunyai fungsi dan peran penting bagi kelangsungan hidup yang harus selalu dijaga agar tetap bekerja secara optimal. Apabila organ tubuh tidak bekerja optimal, maka akan menimbulkan penyakit yang dapat menghambat kelangsungan hidup atau bahkan dapat menyebabkan kematian.

Menurut data *World Health Organization* (WHO), menunjukkan bahwa sebanyak 17,3 juta orang di dunia meninggal karena penyakit kardiovaskuler. Indonesia menempati nomor empat Negara dengan jumlah kematian terbanyak akibat penyakit kardiovaskuler. Menteri Kesehatan memprediksikan angka-angka tersebut mungkin akan terus meningkat setiap tahunnya, karena tingginya faktor resiko yang mempengaruhi, diantaranya: perubahan gaya hidup, pola makan, kurangnya olahraga, merokok, stres, hipertensi, diabetes, dislipidemia, dan faktor lingkungan/polusi yang membahayakan kesehatan, serta rendahnya kondisi sosioekonomi masyarakat. Penyakit kardiovaskuler merupakan penyakit gangguan pada jantung dan pembuluh darah dimana terjadi penyempitan atau penyumbatan pembuluh darah yang dapat menyebabkan serangan jantung, nyeri dada (angina), atau *stroke*.

Jantung adalah salah satu organ yang berperan penting dalam sistem peredaran darah. Jantung berfungsi memompakan darah yang kaya oksigen ke seluruh tubuh melalui pembuluh darah nadi (arteri) dan menerima darah yang kaya karbon dioksida dari seluruh tubuh melalui pembuluh darah balik (vena) untuk dipompakan ke paru-paru dan mendapatkan oksigen, kemudian dialirkan lagi ke jantung bagian kiri terus dipompakan lagi ke seluruh tubuh, begitu seterusnya kinerja jantung. Setiap harinya, jantung memompa 2.000 galon darah atau setara dengan 7.571 liter darah. Jantung bekerja setiap saat baik saat seseorang beraktivitas maupun istirahat. Pada saat melakukan aktivitas, jantung bekerja lebih ekstra karena harus menyuplai darah yang dibutuhkan setiap jaringan dengan cukup. Kebutuhan darah dari jaringan saat beraktivitas lebih besar daripada saat istirahat. Oleh sebab itu, jantung harus bekerja optimal agar bisa mencukupi jumlah darah yang dibutuhkan oleh setiap jaringan.

Untuk mengoptimalkan kinerja jantung, setiap bagian jantung mempunyai peran dan fungsinya masing-masing. Salah satunya katup jantung yang berfungsi sebagai pengontrol atau pengendali aktivitas darah agar mengalir dengan aman pada satu arah aliran dan tidak mengalir ke arah yang salah. Hal ini sangat penting agar tidak terjadi aliran darah balik. Jantung mempunyai empat katup, yaitu: katup trikuspidalis, katup pulmonari, katup mitral dan katup aorta. Katup aorta adalah katup jantung yang membutuhkan energi sangat besar untuk membuka karena harus mengalirkan darah yang kaya oksigen dari ventrikel kiri ke seluruh bagian tubuh. Apabila katup aorta tidak bekerja optimal, maka peredaran darah ke seluruh bagian tubuh akan terhambat dan secara otomatis akan mempengaruhi kinerja organ lainnya. Jantung khususnya ventrikel kiri harus bekerja lebih kuat untuk memompa darah agar bisa melewati katup aorta. Banyak faktor yang menyebabkan katup aorta tidak bekerja optimal, diantaranya: penumpukan kalsium (kalsifikasi) pada katup aorta yang biasa terjadi pada lansia di atas 65 tahun, kelainan kongenital dan komplikasi dari demam rematik. Faktor-faktor tersebut menyebabkan penyempitan pada katup aorta atau biasa disebut *aortic stenosis* (stenosis aorta).

*Aortic stenosis* adalah salah satu penyakit jantung yang disebabkan karena adanya penyempitan pada katup aorta sehingga katup aorta tidak terbuka secara penuh atau menyempit, yang menurunkan aliran darah dari jantung ke seluruh tubuh. Pada kondisi ini, otot jantung dipaksa bekerja lebih keras untuk memompa darah melalui katup dengan pembukaan yang sempit. Sehingga, semakin lama otot jantung akan menjadi bertambah besar dan melemah.

Berdasarkan fakta-fakta yang telah diuraikan di atas, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan memodelkan dan mensimulasikan proses aliran darah pada katup aorta akibat dari *aortic stenosis*. Dalam penelitian ini akan dikembangkan suatu model persamaan diferensial matematika untuk mengetahui proses aliran darah dan metode yang digunakan untuk menyelesaikan model tersebut adalah metode elemen hingga. Metode elemen hingga adalah metode yang digunakan untuk penyelesaian masalah teknik dan fisika matematis, yang meliputi permasalahan analisis struktur, aliran fluida dan perpindahan massa. Metode ini diperlukan adanya prosedur diskritisasi untuk menyederhanakan penyelesaian eksak kontinu agar mendapatkan nilai aproksimasi yang mendekati nilai sebenarnya. Untuk memudahkan proses menganalisis dan simulasi model matematika tersebut, dibutuhkan sebuah teknologi yang modern dan canggih. Teknologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *software* MATLAB dan FLUENT.

Model matematika yang dianalisis dengan *software* MATLAB dan FLUENT dirumuskan berdasarkan permasalahan sehari-hari. Penentuan model matematika harus dirumuskan dengan tepat sehingga diperoleh penyelesaian yang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Penyelesaian dalam permasalahan tersebut membutuhkan keterampilan dalam bidang materi khususnya matematika. Di zaman yang semakin modern dan canggih, keterampilan membangun model matematika dari suatu permasalahan tersebut dapat diintegrasikan dengan teknologi yang sesuai untuk memperoleh penyelesaian yang mudah dan tepat. Pengintegrasian suatu permasalahan tertentu dengan teknologi tepat guna disebut dengan *Technological Content Knowledge* (TCK). Bentuk integrasi tersebut dapat membantu pendidik agar lebih mudah dalam

memberikan pemahaman kepada siswa mengenai materi yang akan disampaikan atau permasalahan dalam kehidupan sehari-hari dengan berbantuan teknologi yang sesuai. Berdasarkan hal tersebut, proses pengembangan model matematika dan penggunaan teknologi dalam penelitian ini digunakan untuk mengasah kemampuan TCK.

Berdasarkan uraian diatas, maka perlu dilakukan penelitian dengan judul "Analisis Numerik Aliran Darah pada Katup Aorta Akibat *Aortic Stenosis* Menggunakan Metode Elemen Hingga untuk Mengasah Kemampuan TCK".

## 1.2 Rumusan Masalah

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

- 1) bagaimana model matematika aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis* menggunakan metode elemen hingga?
- 2) bagaimana analisis pengaruh luas area pada katup aorta akibat *aortic stenosis* terhadap kecepatan aliran darah?
- 3) bagaimana analisis pengaruh kecepatan awal pada katup aorta akibat *aortic stenosis* terhadap kecepatan aliran darah?
- 4) bagaimana efektivitas metode elemen hingga dalam menganalisis masalah aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis* berdasarkan eror yang didapat?
- 5) bagaimana kaitan aliran darah pada katup aorta menggunakan metode elemen hingga dalam mengasah kemampuan TCK?

## 1.3 Batasan Masalah

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

- 1) proses yang dianalisis adalah aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis* berdasarkan luas area dan kecepatan awal katup aorta;
- 2) penumpukan kalsium (kalsifikasi) adalah faktor yang diambil dari penelitian aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis*;
- 3) posisi tubuh saat peredaran darah melewati katup aorta dianggap tetap;

- 4) ukuran jantung dianggap sama;
- 5) *temperature* tubuh dianggap stabil;
- 6) koefisien viskositas darah diabaikan;
- 7) frekuensi denyut jantung dianggap tetap;
- 8) massa jenis darah adalah 1.050;
- 9) analisis yang digunakan menggunakan bantuan *software* MATLAB;
- 10) Kecepatan katup aorta saat membuka dianggap normal;
- 11) volume darah diabaikan;
- 12) 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 aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis*;
- 2) untuk mengetahui analisis pengaruh luas area pada katup aorta akibat *aortic stenosis* terhadap kecepatan aliran darah;
- 3) untuk mengetahui analisis pengaruh kecepatan awal pada katup aorta akibat *aortic stenosis* terhadap kecepatan aliran darah;
- 4) untuk mengetahui efektivitas metode elemen hingga dalam menganalisis masalah aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis* berdasarkan eror yang didapat;
- 5) untuk mengetahui kaitan aliran darah pada katup aorta menggunakan metode elemen hingga dalam mengasah kemampuan TCK.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) menambah pengetahuan peneliti dalam bidang pemodelan matematika;
- 2) menambah pengetahuan baru bagi peneliti dalam bidang kesehatan;
- 3) sebagai literatur bagi peneliti lain yang ingin melakukan penelitian sejenis atau penelitian lebih lanjut;

- 4) memberikan kontribusi terhadap berkembangnya pengetahuan baru dalam bidang pemodelan matematika menggunakan metode elemen hingga di program studi pendidikan matematika FKIP Universitas Jember;
- 5) mengasah kemampuan *Technological Content Knowledge* (TCK) dalam mengembangkan model matematika aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis* dan penggunaan *software* MATLAB dan FLUENT.

### 1.6 Kebaruan Penelitian

Adapun kebaruan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) menggunakan model rumus yang berbeda dengan sebelumnya;
- 2) menggunakan *software* MATLAB versi R2014a dalam menganalisis model matematika pada katup aorta akibat *aortic stenosis*;
- 3) menggunakan metode elemen hingga dengan pendekatan kuadratik;
- 4) model matematika akan disimulasikan menggunakan FLUENT versi 6.0;
- 5) proses pengembangan model matematika dan hasil penggunaan teknologi dalam penelitian ini dilakukan untuk mengasah kemampuan TCK (*Technological and Content Knowledge*).

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pemodelan Matematika

Menurut Pagalay (2009: 2-3) model adalah jembatan antara dunia nyata (*real world*) dengan dunia berpikir (*thinking*) untuk memecahkan suatu masalah. Proses penjabaran atau merepresentasikan ini disebut sebagai *modelling* atau pemodelan yang tidak lain merupakan proses berpikir melalui sekuen yang logis. Model dirancang bukan untuk memecahkan masalah sekali untuk selamanya atau memecahkan semua masalah. Di dalam model, tidak ada istilah "*there is no such thing as solution for the real life problem*" yang menjadi kunci dari semua masalah, sehingga dalam pemodelan, penting untuk merevisi dan meng-*upgrade* strategi. Sehingga segala sesuatu cenderung berubah, mengalir, dan tidak ada yang tetap. Jadi, pemodelan juga dapat dikatakan sebagai proses menerima, memformulasikan, memproses, dan menampilkan kembali persepsi dunia luar.

Model matematika adalah proses interpretasi dunia nyata ke dalam bahasa simbolik, seperti bahasa matematika, sehingga menghasilkan model kuantitatif. Untuk menjembatani dunia nyata dalam persepsi manusia yang bersifat kualitatif menjadi model yang bersifat kuantitatif perlu adanya proses transformasi berupa alat pengukuran dan proses pengambilan keputusan. Tanpa model yang jelas, tidak akan mungkin membangun model kuantitatif yang kuat. Sehingga, pengukuran dalam membangun model sangat penting karena dapat menentukan seberapa jauh model yang dibangun bisa dikendalikan atau dikelola.

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

1. Model Empiris

Data pada model empiris 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.

### 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.

Membangun sebuah model diperlukan beberapa tahapan agar menghasilkan model yang reliabel. Menurut Pagalay (2009: 5-7), tahapan-tahapan tersebut diantaranya, yaitu:

1. identifikasi masalah yang dibangun dari berbagai pertanyaan;
2. membangun asumsi-asumsi untuk penyederhanaan realitas yang kompleks;
3. membuat konstruksi dari model itu sendiri yang dapat dilakukan melalui hubungan fungsional dengan cara membuat diagram, alur, maupun persamaan-persamaan matematika;
4. mencari solusi yang sesuai untuk menjawab pertanyaan yang dibangun pada tahap identifikasi;
5. melakukan interpretasi atas hasil yang dicapai dalam tahap analisis;
6. validasi model, yang tidak hanya menginterpretasikan model, tetapi juga melakukan verifikasi atas keabsahan model yang dirancang dengan asumsi yang dibangun sebelumnya; dan
7. jika hasil validasi memenuhi syarat, baru kemudian dilakukan implementasi komputasi melalui "hard system" seperti komputer maupun alat bantuan lainnya.

Berdasarkan penjelasan di atas, penelitian ini menggunakan model simulasi dengan bantuan program komputer yaitu MATLAB dan FLUENT.

## 2.2 CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

*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).

Umumnya terdapat tiga tahapan yang harus dilakukan ketika melakukan simulasi pada solver CFD.

1. *Pre-processor*

*Pre-processor* atau *pre-processing* merupakan langkah awal pada proses simulasi yang harus dilakukan dalam membangun dan menganalisis model CFD. Hal yang harus dilakukan dalam tahap ini adalah dengan mendesain model geometri yang akan dianalisis, membuat *mesh/grid* pada model, kemudian menerapkan kondisi-kondisi batas (*boundary*) yang berupa *inlet*, *outlet* dan *wall*.

2. *Solver*

*Solver* atau *solving* merupakan tahap inti dari CFD. Solusi dihitung berdasarkan kondisi-kondisi yang diterapkan pada tahap *pre-processor*. Penyelesaian pada tahap ini terdiri dari tiga tahapan yaitu: aproksimasi aliran yang tidak diketahui dengan fungsi sederhana; diskritisasi dengan mensubstitusikan hasil aproksimasi ke dalam persamaan aliran yang dibangun disertai manipulasi matematik; dan penyelesaian persamaan secara aljabar.

3. *Post-processor*

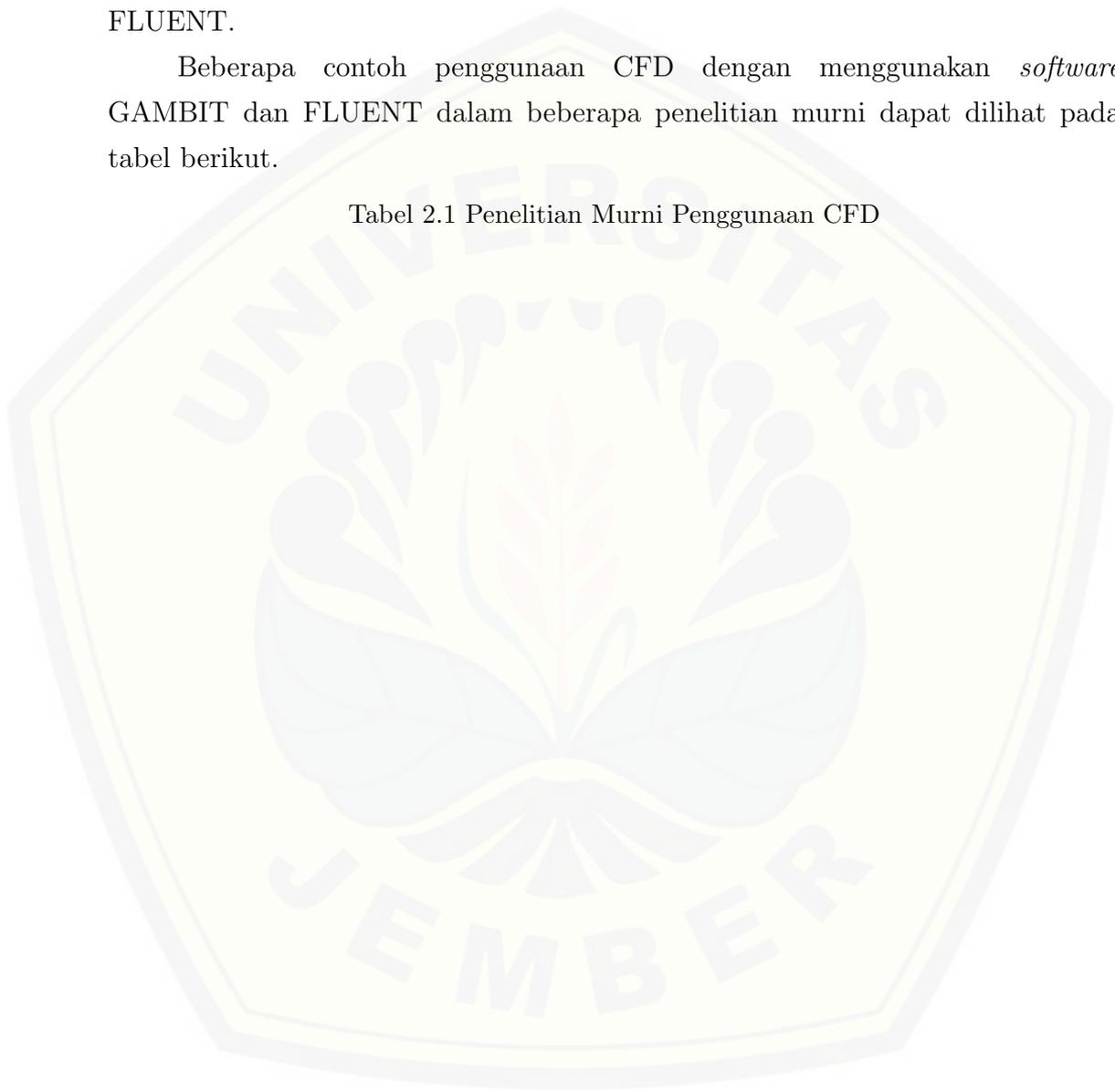
*Post-processor* atau *post-processing* merupakan tahapan terakhir dari CFD. Tahap ini adalah tahap interpretasi data hasil simulasi CFD yang berupa gambar, kurva, vektor, animasi dengan warna tertentu.

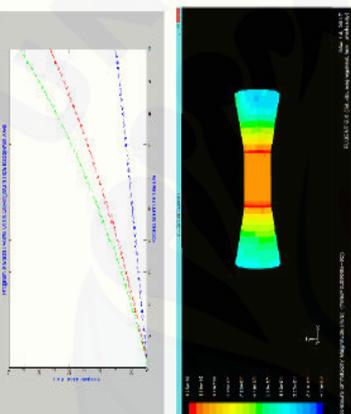
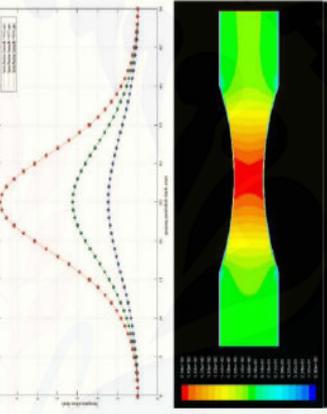
### 2.3 Perangkat Lunak CFD

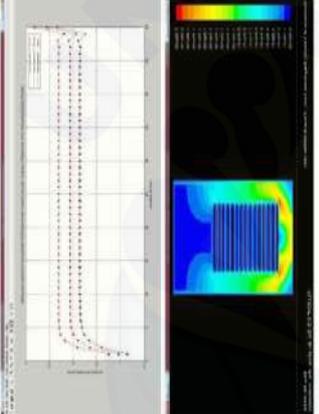
CFD digunakan dalam penelitian ini untuk mensimulasikan aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis*. CFD merupakan sebuah sistem komputer, sehingga diperlukan adanya perangkat lunak (*software*) untuk menjalankannya. Perangkat lunak pada CFD diantaranya yaitu: GAMBIT dan FLUENT.

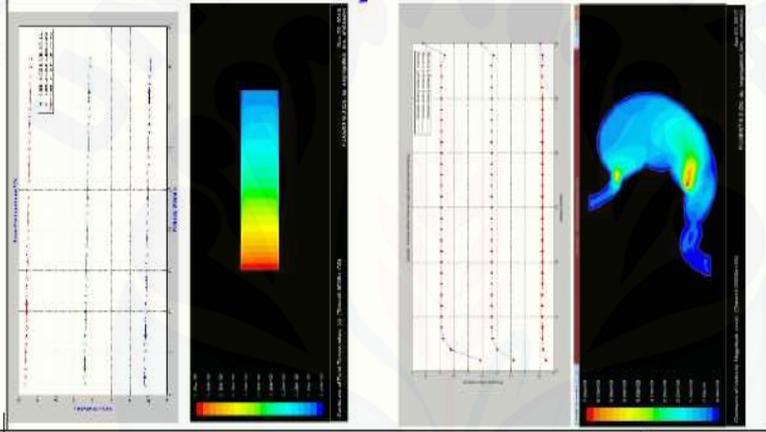
Beberapa contoh penggunaan CFD dengan menggunakan *software* GAMBIT dan FLUENT dalam beberapa penelitian murni dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.1 Penelitian Murni Penggunaan CFD



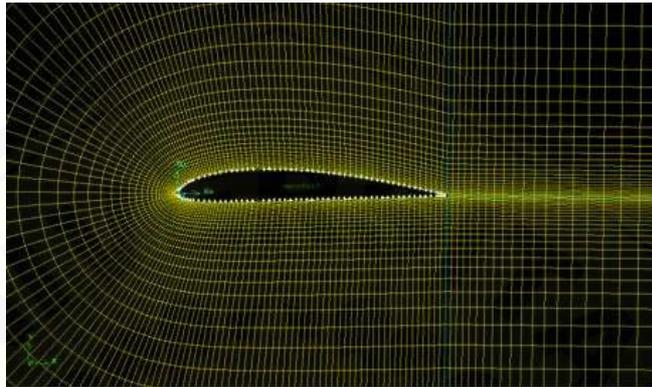
Model Matematika	Simulasi CFD <i>dim(G)</i>	Publikasi
$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} \frac{\partial \rho v \phi_y}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho \frac{\partial g}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left( 2\mu \left( \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) \right)$ <p>dimana: <math>P = \frac{Q8\eta l}{\pi r^4}</math></p>		<p>Aisyah, Siti. 2017.                  Analisis Numerik Aliran Udara pada Penyempitan Saluran Pernapasan Akibat Penyakit Gondok Menggunakan Metode Elemen Hingga Sebagai Monograf. Skripsi. Jember: Program Studi Pendidikan Matematika FKIP.</p>
$\phi_w \rho \Delta t (u - 1) + \phi_e \rho \Delta t (1 - u) = -p \Delta t + 2\mu \frac{u}{\Delta x} \Delta t$ <p>dimana: <math>p = \frac{Q8\eta l}{\pi r^4}</math></p>		<p>Zauri, A. S. 2014.                  Analisis Numerik Aliran Darah pada Penyempitan Pembuluh Darah Arteri Menggunakan Metode Elemen Hingga. Skripsi. Jember: Program Studi Pendidikan Matematika FKIP.</p>

Model Matematika	Simulasi CFD <i>dim(G)</i>	Publikasi
$\phi_n \left[ -\frac{v \Delta t \Delta t}{\Delta x} - \frac{v \Delta x \Delta t \Delta t}{\Delta y \Delta y} \right] +$ $\phi_s \left[ \frac{v \Delta t \Delta t}{\Delta x} + \frac{v \Delta x \Delta t \Delta t}{\Delta y \Delta y} \right] +$ $\phi_e \left[ -\frac{u \Delta y \Delta t \Delta t}{\Delta x \Delta x} + \frac{u \Delta t \Delta t}{\Delta y} \right] +$ $\phi_w \left[ \frac{u \Delta y \Delta t \Delta t}{\Delta x \Delta x} + \frac{u \Delta t \Delta t}{\Delta y} \right] =$ $\frac{1}{\left( \frac{\mu_t}{\mu} + S_k \right)} \left[ \left( \frac{P}{\rho} + uv - \rho w^2 v + \beta g u \frac{\mu}{Pr_t} + h \rho l (T_1 - T) \right) \Delta x \Delta t + \right.$ $\left. \left( \frac{\mu v}{\rho} + \frac{uv}{\rho} \right) \Delta t \right] +$ $\left( -\frac{P}{\rho} - uv \right) \frac{\Delta t \Delta t}{\Delta x} +$ $\left( \frac{\mu u}{\rho} + \frac{\mu u}{\rho} \right) \frac{\Delta t \Delta t}{\Delta x \Delta x} +$ $\left( \frac{\mu u}{\rho} + \frac{\mu u}{\rho} \right) \frac{\Delta t \Delta t}{\Delta x \Delta y} +$ $\left( -\frac{P}{\rho} - uv \right) \frac{\Delta y \Delta t \Delta t}{\Delta x \Delta x} +$ $\left( \frac{\mu u}{\rho} \right) \frac{\Delta y \Delta t \Delta t}{\Delta x \Delta x \Delta x} +$ $\left( -\frac{P}{\rho} - uv \right) \frac{\Delta t \Delta t}{\Delta y \Delta y} +$ $\left( \frac{\mu u}{\rho} + \frac{\mu u}{\rho} \right) \frac{\Delta t \Delta t}{\Delta y \Delta y} +$ $\left( \frac{\mu u}{\rho} \right) \frac{\Delta x \Delta t \Delta t}{\Delta y \Delta y \Delta y} +$ $\left( -\frac{P}{\rho} - uv \right) \frac{\Delta t \Delta t}{\Delta y}$		<p>Romadhoni, Fika. 2017.                  Analisis Numerik Perpindahan Panas dalam Tungku Pemanas Arc- <i>Welding-Electrode</i> dengan Menggunakan Metode Volume Hingga Sebagai Monograf. Skripsi. Jember: Program Studi Pendidikan Matematika FKIP.</p>

Model Matematika	Simulasi CFD <i>dim(G)</i>	Publikasi
$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \left( \frac{\partial \rho q u \phi}{\partial x} \right) = \frac{\partial^2 \mu \phi_0}{\partial^2 x} + \left( \frac{\partial^2 \mu_t \phi_0}{\partial^2 x \tau_k} \right) + 2 \left( \frac{\partial^2 U \mu_t}{\partial^2 x} \right)$ $\phi_e (\rho^2 \Delta y \Delta t - \rho u \Delta y \Delta t) + \phi_w (-\rho^2 \Delta y \Delta t + \rho u \Delta y \Delta t) + \phi_n (\rho^2 \Delta x \Delta t - \rho v \Delta x \Delta t) + \phi_s (-\rho^2 \Delta x \Delta t + \rho v \Delta x \Delta t) = 2\mu u \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + 2\mu v \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} + \mu u \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} - P \Delta y \Delta t + \rho g \Delta y \Delta t - P \Delta x \Delta t + \rho g \Delta x \Delta t + \mu u \Delta t + \mu v \Delta t$		<p>Lazuardi, Rizki. 2017. Analisis Numerik Aliran Fluida pada <i>Heat Exchanger</i> Menggunakan Metode Elemen Hingga Sebagai Bahan Ajar. Skripsi. Jember: Program Studi Pendidikan Matematika FKIP.</p> <p>Hakim, Riska. 2017. Analisis Numerik Aliran Fluida pada Pencernaan Lambung Menggunakan Metode Volume Hingga Sebagai Monograf. Skripsi. Jember: Program Studi Pendidikan Matematika FKIP.</p>

### 2.3.1 GAMBIT

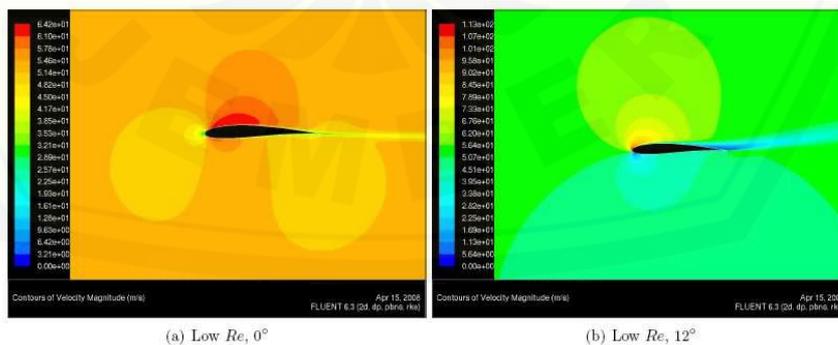
GAMBIT merupakan singkatan dari *Geometry and Mesh Building Intelligent Toolkit*. GAMBIT merupakan salah satu pre-processor yang didesain untuk membantu membuat model dan melakukan diskritisasi (*meshing*) pada model untuk analisis CFD. Pembuatan model dapat digunakan dalam berbagai



Gambar 2.1 Tampilan GAMBIT

macam bentuk dan termasuk bentuk-bentuk yang rumit serta tidak beraturan. Hal ini dikarenakan GAMBIT dapat melakukan *meshing* dengan berbagai macam bentuk *mesh* baik dalam 2-dimensi atau 3-dimensi. Tahap pemodelan terakhir pada GAMBIT adalah proses penentuan jenis kondisi batas. *Mesh* yang telah dibuat pada GAMBIT dapat diekspor ke semua *solver* FLUENT (Susanto, 2012: 486).

### 2.3.2 FLUENT



Gambar 2.2 Tampilan FLUENT

FLUENT adalah salah satu jenis program CFD yang memiliki struktur data efisien dan lebih lengkap. FLUENT menyediakan *mesh* dengan peralatan lengkap, sehingga dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan mudah meskipun bentuknya tidak teratur. Jenis *mesh* yang didukung oleh FLUENT adalah tipe 2D *triangular-quadrilateral*, 3D *tetrahedral-hexahedral-pyramide-wedge*, dan *mesh* campuran (*hybrid*).

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; dan
11. menyimpan hasil iterasi.

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

#### **2.4 Metode Elemen Hingga**

Menurut Robert D. Cook (1998: 4), metode elemen hingga adalah prosedur numerik untuk memecahkan masalah mekanika kontinum dengan ketelitian yang dapat diterima oleh rekayasawan. Pada dasarnya, elemen hingga merupakan bagian-bagian kecil dari struktur aktual. Sementara Fatahillah

(2013: 110) berpendapat bahwa metode elemen hingga adalah salah satu metode pendekatan numerik yang mendasarkan permasalahan pada tiap-tiap elemen bagian yang dinamakan elemen hingga.

Sejarah elemen hingga berawal dari para ahli riset yang mengusulkan metode "*analogi lattice*" untuk memecahkan masalah kontinum oleh batang-batang elastis pada tahun 1906 dan tahun-tahun berikutnya. Selanjutnya metode ini berkembang menjadi metode untuk menganalisis struktur rangka. Pada tahun 1941, ahli matematik Courant (dalam tulisan yang diterbitkan tahun 1943), mengusulkan interpolasi polinomial bagian-demi-bagian pada daerah segitiga, sebagai cara untuk mendapatkan solusi numerik pendekatan. Hal tersebut dianggap tidak praktis karena memang belum ada komputer yang digunakan untuk melakukan perhitungan. Setelah tahun 1953, para rekayasawan menuliskan persamaan kekakuan dalam notasi matriks dan dapat memecahkan persamaan tersebut dengan menggunakan bantuan komputer digital (Cook, 1998: 8).

Nama "elemen hingga" disebutkan pertama kali pada tahun 1960 dalam makalah klasik RW. Clough, yaitu *The Finite Element Method in Plane Stress Analysis*. Dalam kasus ini diterapkan pada masalah tegangan bidang dengan mempergunakan elemen segitiga dan segiempat. 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 alam semesta dalam bentuk keseluruhan atau totalitas. Dengan kata lain kita mendiskritkan ruang di sekitar kita ke dalam segmen-segmen kecil, dan hasil rakitan akhir yang kita visualisasikan adaah tiruan dari lingkungan kontinu yang nyata (Dolu, 2010).

Bentuk penyelesaian dari metode elemen hingga memiliki bentuk persamaan matriks:

$$[k] \{d\} = r$$

dimana :

$[k]$  = matrik kekakuan elemen,

$\{d\}$  = vektor peralihan titik simpul elemen, dan

$r$  = vektor beban titik simpul elemen.

Metode elemen hingga dapat digunakan untuk memecahkan berbagai masalah. Daerah yang dianalisis dapat mempunyai bentuk, beban dan kondisi batas yang sembarang. Jaring-jaringnya dapat terdiri atas elemen yang berbeda jenis, bentuk dan besaran fisiknya. Kemudahan penggunaan berbagai hal tersebut dapat tergabung pada satu program komputer yang serba guna. Keunggulan lain dari metode elemen hingga adalah adanya arti fisik yang cukup dekat antara jaring elemen dengan struktur aktualnya. Sedangkan kekurangan dari metode ini adalah hasil yang diperoleh berupa hasil numerik: tidak ada persamaan bentuk tertutup yang dapat dipakai untuk kasus serupa yang hanya berbeda parameternya (Cook, 1998: 6).

Setiap permasalahan yang ada akan diselesaikan dengan pendekatan. Pada penelitian ini menggunakan metode elemen hingga dengan pendekatan kuadratik. Fungsi pada pendekatan ini adalah sebagai berikut.

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

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

$$C = \begin{cases} C_i, & \text{untuk } x = 0 \\ C_j, & \text{untuk } x = \frac{1}{2} \\ C_k, & \text{untuk } x = 1 \end{cases}$$

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

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

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

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

dapat ditulis

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

dengan

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

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

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

#### 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).

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

$\Sigma F$  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 Pemrograman MATLAB

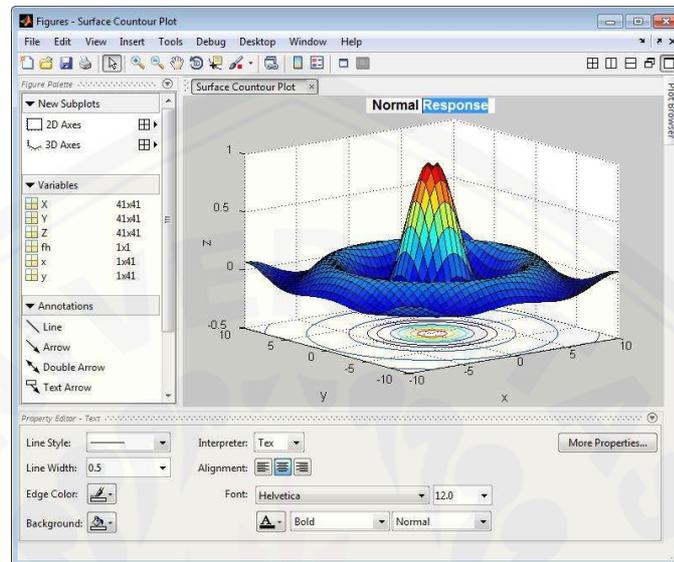
### 2.5.1 Algoritma dan Pemrograman

Algoritma adalah sekumpulan instruksi yang apabila dijalankan akan menyelesaikan suatu tugas tertentu. Sebagai tambahan, setiap algoritma harus memenuhi kriteria sebagai berikut.

1. Tidak harus ada data masukan yang dimasukkan dari luar.
2. Paling tidak ada satu buah keluaran.
3. Setiap instruksi jelas maksudnya dan tidak meragukan.
4. Algoritma baik secara keseluruhan maupun sub algoritma bila ditelusuri harus ada titik berhentinya.

5. Setiap instruksi selain jelas juga harus dapat dilaksanakan, dan juga efektif dalam arti harus menghasilkan sesuatu.

### 2.5.2 MATLAB 7.0



Gambar 2.3 Tampilan MATLAB

Nama MATLAB merupakan kependekan dari kata *Matrix Laboratory*. Menurut Pusadan (2014: 1), MATLAB adalah sebuah program untuk analisis dan komputasi numerik yang merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks. Pada awalnya, program ini merupakan *interface* untuk koleksi rutin numerik proyek LINPACK dan EISPACK. Namun sekarang, program ini merupakan produk komersial dari perusahaan Mathwork, Inc. yang dalam perkembangan selanjutnya dikembangkan menggunakan bahasa C++ dan *assembler* (terutama fungsi-fungsi dasar MATLAB).

Beberapa menu tampilan yang dimiliki *Software* MATLAB yaitu sebagai berikut.

#### 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* ( $\gg$ ).

## 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 komplek (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 dengan cara:

- 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  $\gg$  *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  $\omega$  adalah faktor skala. Sehingga Persamaan

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

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

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

$\vdots$

(2.9)

$$x_n^1 = \frac{1}{a_{nn}}(b_n - a_{n1}x_1^1 - a_{n2}x_2^1 - \cdots - a_{nn-1}x_{n-1}^1)$$

o iterasi ke-2

$$\begin{aligned} x_1^2 &= \frac{1}{a_{11}}(b_1 - a_{12}x_2^1 - a_{13}x_3^1 - \cdots - a_{1n}x_n^1) \\ x_2^2 &= \frac{1}{a_{22}}(b_2 - a_{21}x_1^2 - a_{23}x_3^1 - \cdots - a_{2n}x_n^1) \\ x_3^2 &= \frac{1}{a_{33}}(b_3 - a_{31}x_1^2 - a_{32}x_2^2 - \cdots - a_{3n}x_n^1) \\ &\vdots \\ x_n^2 &= \frac{1}{a_{nn}}(b_n - a_{n1}x_1^2 - a_{n2}x_2^2 - \cdots - a_{nn-1}x_{n-1}^2) \end{aligned} \quad (2.10)$$

o dan seterusnya sampai iterasi ke- $k$ .

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

$$x_i^k = \frac{1}{a_{ii}} \left( b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij}x_j^k - \sum_{j=1+1}^n a_{ij}x_j^{k-1} \right) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.11)$$

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

$$x_i^k = (1 - \omega)x_i^{k-1} + \frac{\omega}{a_{ii}} \left( b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij}x_j^k - \sum_{j=1+1}^n a_{ij}x_j^{k-1} \right) \quad (2.12)$$

(Anton, 1987: 359).

Pada Persamaan (2.5) dan Persamaan (2.12), 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 didapat. Hal ini dikarenakan penyelesaian yang didapat melalui komputasi numerik masih memuat beberapa galat. Galat atau biasa disebut eror 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 didapat bukan hasil yang sama persis dengan nilai sejatinya. namun akan selalu ada selisih, karena hasil dengan metode numerik merupakan hasil yang didapat 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 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. 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 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 merupakan 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  $\Delta x_i$ . Galat  $\Delta u$  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 Aliran Darah

### 2.6.1 Darah

Darah adalah suatu jaringan tubuh yang terdapat di dalam pembuluh darah. Darah berwarna merah yang bersifat tidak tetap bergantung pada

banyaknya oksigen dan karbon dioksida di dalamnya. Viskositas/kekentalan darah lebih kental dari air yaitu BJ 1,041 - 1,067, dan pH 7,37 - 7,45. Pada tubuh orang dewasa terdapat darah sebanyak kira-kira 1/13 dari berat badan atau kira-kira 4 sampai 5 liter. Keadaan jumlah darah masing-masing orang tidak sama. Hal tersebut bergantung pada umur, pekerjaan, keadaan jantung atau pembuluh darah (Syaifuddin, 2006: 122-123).

Fungsi darah sebagai berikut.

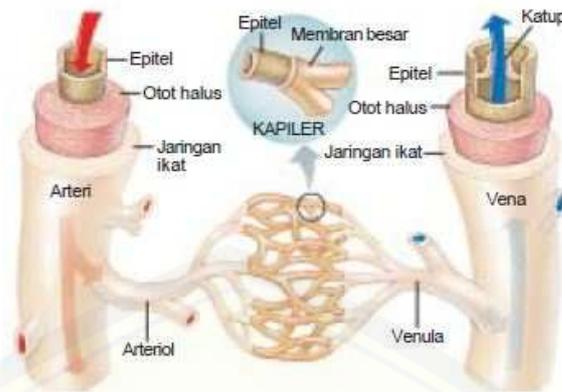
1. Sebagai alat pengangkut yaitu:
  - a mengambil oksigen dari paru-paru untuk diedarkan ke seluruh jaringan tubuh;
  - b mengeluarkan karbon dioksida dari jaringan tubuh melalui paru-paru;
  - c mengambil zat-zat makanan dari usus halus untuk diedarkan ke seluruh jaringan tubuh; dan
  - d mengeluarkan zat-zat makanan yang tidak berguna bagi tubuh melalui kulit dan ginjal.
2. Sebagai pertahanan tubuh terhadap serangan penyakit dan racun.
3. Menyebarkan panas ke seluruh tubuh.

## 2.6.2 Pembuluh Darah

Pembuluh darah terletak di seluruh tubuh dan bertujuan untuk transportasi darah. Pembuluh darah mengalirkan darah yang mengandung oksigen ke seluruh tubuh dan kemudian mengangkut darah yang mengandung karbon dioksida dari seluruh tubuh ke paru-paru. Ada tiga jenis pembuluh darah yaitu arteri, vena dan kapiler.

### 1. Arteri

Arteri adalah pembuluh darah yang mengalirkan darah yang mengandung oksigen dari ventrikel kiri ke seluruh tubuh. Arteri terbesar di dalam tubuh adalah aorta. Arteri mempunyai dinding yang paling tebal di antara pembuluh darah lainnya.



Gambar 2.4 Pembuluh Darah

## 2. Vena

Vena adalah pembuluh darah yang mengalirkan darah yang mengandung karbon dioksida dari seluruh tubuh masuk ke dalam jantung. Vena yang terbesar di dalam tubuh adalah vena kava. Vena mempunyai dinding yang lebih tipis daripada dinding arteri dan berisi katup-katup yang sangat kecil. Katup-katup ini terdiri dari dua kelompok yang berguna untuk mencegah aliran darah agar tidak kembali lagi.

## 3. Kapiler

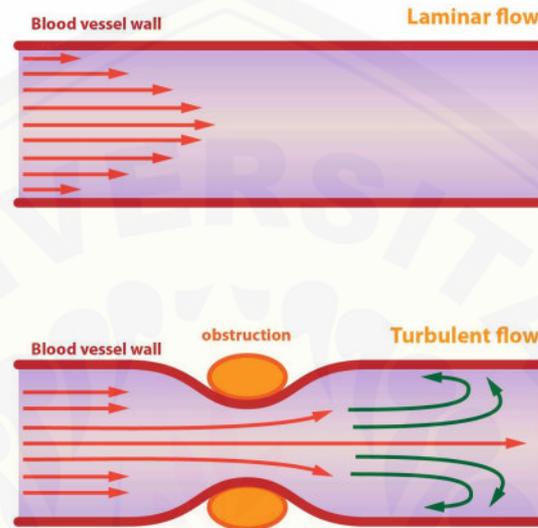
Kapiler adalah pembuluh darah yang paling kecil di dalam tubuh dan mempunyai dinding yang paling tipis dengan diameter kira-kira 0,008 mm. Kapiler ini merupakan alat penghubung antara pembuluh darah arteri dan vena. Sehingga, pertukaran oksigen dan karbon dioksida terjadi melalui dinding kapiler (Syarifuddin, 2006: 121).

### 2.6.3 Aliran Darah

Sistem peredaran darah dibagi menjadi dua, yaitu peredaran darah kecil dan peredaran darah besar.

1. Peredaran darah kecil merupakan darah yang sedikit oksigen keluar dari ventrikel kanan menuju ke arteri pulmonalis lalu ke paru-paru.
2. Peredaran darah besar merupakan darah yang kaya oksigen keluar dari ventrikel kiri menuju ke seluruh tubuh melalui arteri.

Kecepatan aliran darah bergantung pada ukuran dari pembuluh darah. Kecepatan aliran darah ditentukan oleh perbedaan tekanan di antara kedua ujung pembuluh darah seperti tekanan aorta dengan tekanan atrium kanan. Aliran menjadi bergerak karena perubahan tekanan yang terdapat di dalam peredaran darah besar (Syarifuddin, 2006: 132-133).



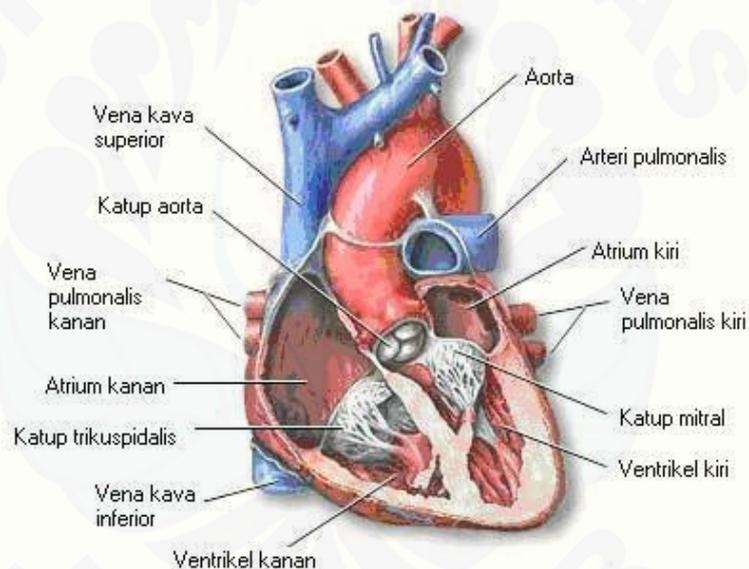
Gambar 2.5 Aliran darah

Darah dapat mengalir di dalam arteri dalam bentuk laminar, artinya kecepatan aliran di bagian tengah dan bagian tepi yang dekat dengan permukaan bagian dalam dinding arteri adalah sama. Aliran bersifat sejajar yang konsentris ke arah yang sama. Dalam bentuk ini, darah mengalir dalam kecepatan tetap melalui pembuluh darah yang panjang dan licin. Jika terdapat suatu aliran darah di dalam arteri mengarah ke segala jurusan aliran disebut aliran turbulen. Keadaan ini terjadi ketika pembuluh darah mengalami sumbatan, permukaan kasar dan arteri bercabang (Guyton dan Hall, 1997).

Berdasarkan uraian di atas, aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis* dalam penelitian ini merupakan aliran turbulen.

## 2.7 Katup Aorta

Katup aorta adalah satu dari empat katup utama yang berada di dalam jantung. Menurut Sholeh S. Naga (2013: 156), jantung merupakan organ utama dalam sistem kardiovaskuler atau sistem peredaran darah. Jantung berfungsi sebagai pompa ganda sistem kardiovaskular. Artinya, sisi kanan jantung memompa darah ke paru-paru sedangkan sisi kiri jantung memompa darah ke seluruh tubuh. Bentuk jantung menyerupai jantung pisang. Ukuran jantung masing-masing orang berbeda. Ukuran jantung orang dewasa dengan panjang sekitar 12 cm, lebar 8-9 cm, dan tebal 6 cm. Berat jantung sekitar 7-15 ons atau 200-425 gram. Setiap harinya, jantung berdetak 100.000 kali dan dalam masa periode itu jantung memompa 2.000 galon darah atau setara dengan 7.571 liter darah.



Gambar 2.6 Anatomi Jantung

Berdasarkan gambar 2.6, dapat dilihat bahwa jantung mempunyai empat ruang: atrium kanan, atrium kiri, ventrikel kanan dan ventrikel kiri. Atrium ruangan sebelah atas jantung yang ber dinding tipis karena berfungsi sebagai reservoir darah. Ventrikel ruangan sebelah bawah yang ber dinding paling tebal karena ventrikel memompa darah ke seluruh tubuh. Sisi kanan dan kiri jantung

dipisahkan oleh dinding otot tebal disebut sekat.

Jantung mempunyai empat katup utama yang terbuat dari jaringan endokardium diantaranya sebagai berikut.

1. Katup trikuspidal : katup yang terletak antara atrium kanan dan ventrikel kanan.
2. Katup pulmonal : katup yang terletak antara ventrikel kanan dan arteri pulmonalis.
3. Katup mitral : katup yang terletak antara atrium kiri dan ventrikel kiri.
4. Katup aorta : katup yang terletak antara ventrikel kiri dan aorta.

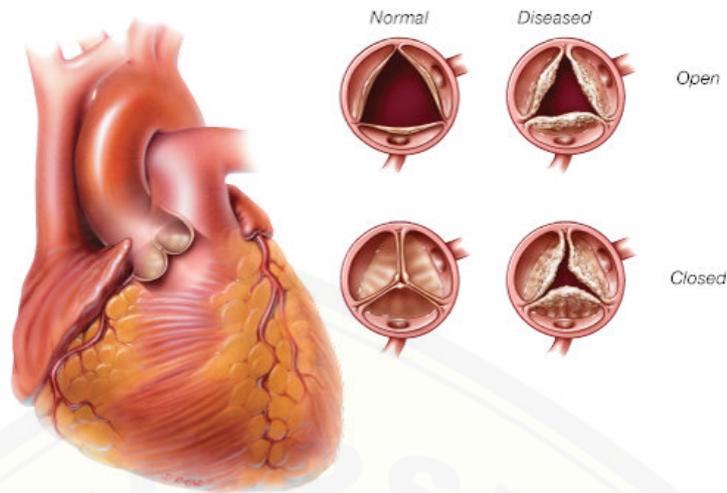
Keempat katup ini membuka dan menutup secara pasif yaitu akan menutup bila selisih tekanan yang membalik mendorong darah kembali dan membuka bila selisih tekanan ke depan mendorong darah ke arah depan. Pada penelitian ini, katup aorta yang akan menjadi objek penelitian.

Katup aorta mencegah aliran balik darah yang berasal dari aorta kembali ke ventrikel kiri selama diastol. Cara kerja katup aorta: pertama, tekanan yang tinggi dalam arteri pada akhir sistolik akan menyebabkan katup aorta mengatup dengan keras sehingga keadaan tertutup dan terjadi penghentian aliran balik darah. Kedua, karena pembukaan yang lebih kecil, kecepatan ejeksi darah melewati katup aorta jauh lebih besar. Bila ventrikel kiri berkontraksi, tekanan ventrikel dengan cepat meningkat sampai katup aorta membuka sehingga darah segera mengalir keluar ventrikel dan masuk ke dalam aorta (Syaifuddin, 2006: 130).

## **2.8 Aortic Steosis**

Stenosis katup aorta (*aortic stenosis*) adalah kondisi dimana terjadi penyempitan pada katup aorta yang merupakan tempat masuknya darah dari ventrikel kiri. Penyempitan tersebut mencegah katup membuka sepenuhnya sehingga menghambat aliran darah ke seluruh tubuh. Ketika katup aorta terhambat, maka jantung harus bekerja lebih keras untuk memompa darah.

Banyak faktor yang menyebabkan terjadinya penyempitan katup aorta antara lain sebagai berikut.



Gambar 2.7 Penyakit *Aortic Stenosis*

1. Cacat jantung bawaan (kelainan kongenital) disebabkan karena sejak lahir mempunyai katup aorta yang memiliki satu (*unicuspid*), yang hanya dua (*bicuspid*) atau empat (*quadricuspid*) selebaran, bukan tiga.
2. Penumpukan Kalsium atau biasa disebut kalsifikasi katup aorta dikarenakan katup jantung dapat terakumulasi kalsium sehingga terjadi endapan pada selebaran katup aorta. Namun, stenosis katup aorta ini paling pada pria yang lebih tua dari usia 65 dan wanita yang lebih tua dari 75 tahun.
3. Demam rematik merupakan komplikasi infeksi radang tenggorokan. Demam rematik dapat mengakibatkan jaringan parut yang membentuk pada katup aorta. Jaringan parut sendiri dapat mempersempit katup aorta dan menyebabkan stenosis katup aorta.

Penyempitan katup aorta berarti luas area katup berkurang. Hal tersebut menyebabkan luas area katup akan mempengaruhi kecepatan aliran darah. Sehingga, penelitian ini akan menganalisis dan mensimulasikan aliran darah pada katup aorta berdasarkan luas area katup. Luas area yang akan digunakan untuk simulasi dibagi berdasarkan tingkat keparahan *aortic stenosis*. Faktor yang dipilih untuk menjadi penyebab terjadinya *aortic stenosis* pada penelitian ini adalah akibat dari penumpukan kalsium (kalsifikasi).

## 2.9 TCK (*Technological and Content Knowledge*)

Gagasan *TPACK* (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) secara resmi muncul dalam literatur dan jurnal pada tahun 2003. *TPACK* mengacu pada bentuk disintesis pengetahuan yang bertujuan untuk mengintegrasikan antara *ICT* (teknologi pendidikan) dan pembelajaran di dalam kelas. Isi penting dari *TPACK* ini adalah tentang pengetahuan konten, pengetahuan pedagogis dan pengetahuan teknologi (Chai: 2003).

Terdapat tiga bentuk dasar pengetahuan pada *TPACK* yang saling berkaitan sehingga menimbulkan 4 bentuk penjabaran pengetahuan, antara lain *PCK*, *TCK*, *TPK*, dan *TPACK*. Bentuk turunan pengetahuan tersebut sebagai berikut:

1. *PCK* (*Pedagogical and Content Knowledge*) mengacu pada pengetahuan keprofesionalan guru dalam membuat konten pengetahuan yang dapat diakses oleh peserta didik melalui beberapa metode pedagogis;
2. *TCK* (*Technological and Content Knowledge*) mengacu pada pemahaman guru mengenai penggunaan teknologi serta pengembangan aktivitas dan tugas kepada peserta didik dengan melibatkan teknologi terkini;
3. *PCK* (*Pedagogical and Content Knowledge*) mengacu pada Pemahaman mengenai pendekatan dan strategi pembelajaran yang sesuai, penyusunan rencana pembelajaran, kemampuan menganalisis kesulitan materi yang dialami oleh peserta didik;
4. *TPACK* (*Technological, Pedagogical and Content Knowledge*) mengacu pada pengetahuan guru mengenai strategi pembelajaran dan teknologi yang sesuai, perpaduan antara pengetahuan konten, pedagogi, dan teknologi di kelas, serta penerapan strategi pembelajaran yang bervariasi.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini menggunakan penjabaran pengetahuan dalam bentuk *TCK* (*Technological and Content Knowledge*).

Bagian-bagian inti *TCK* antara lain:

1. *TK* (*Technological Knowledge*) yaitu pengetahuan tentang cara menggunakan perangkat keras TIK, perangkat lunak, dan perangkat terkait. Contohnya tentang cara menggunakan web tools misalnya wiki, blog, facebook, dll.

Pada penelitian ini, peneliti dapat mengasah kemampuan *TK (Technological Knowledge)* dengan cara penggunaan *software* MATLAB dan FLUENT untuk mencari penyelesaian dan mensimulasikan model matematika dari aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis*.

2. *CK (Content Knowledge)* yaitu pengetahuan tentang materi pelajaran. Contohnya pengetahuan tentang materi matematika. Pada Penelitian ini, peneliti mengasah kemampuan *CK (Content Knowledge)* dengan cara menganalisis kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis* dengan menggunakan analisis numerik dan metode elemen.



### BAB 3. METODE PENELITIAN

Bab ini akan memaparkan metode penelitian yang dilakukan oleh penulis yaitu meliputi jenis penelitian, tempat penelitian, prosedur penelitian, definisi operasional, metode pengumpulan data dan analisis data.

#### 3.1 Jenis Penelitian

Berdasarkan jenisnya, penelitian ini merupakan jenis penelitian simulasi. Penelitian ini dilakukan untuk mencari suatu gambaran aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis* melalui *software* MATLAB dan FLUENT dimana akan diterapkan manipulasi atau pengendalian untuk mendapatkan pengaruhnya. Selain itu juga untuk memperluas batas-batas ilmu pengetahuan, untuk menambah pengetahuan dengan prinsip-prinsip dasar dan hukum-hukum ilmiah serta untuk meningkatkan pencarian dan metodologi ilmiah. Hal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian konsep atau hipotesis awal dan kemudian pembuatan kajian lebih dalam serta kesimpulan tentang fenomena yang diamati. Pada penelitian ini, peneliti mengamati aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis* yang dipengaruhi oleh kecepatan awal dan luas area katup aorta. Permasalahan tersebut diselesaikan dan ditransformasikan dalam bentuk model matematika sehingga diperoleh hasil atau data-data yang mendekati keadaan sebenarnya.

#### 3.2 Tempat Penelitian

Pada penelitian ini, penyelesaian numerik dan pemodelan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) aliran darah pada katup aorta dilakukan di laboratorium matematika gedung H FKIP Universitas Jember yang telah tersedia sarana dan prasarana yang mendukung yaitu dengan adanya komputer yang dilengkapi program MATLAB untuk penyelesaian numerik dan program FLUENT untuk simulasi pemodelan serta berbagai sumber lainnya.

#### 3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dibutuhkan adanya prosedur penelitian atau serangkaian kegiatan yang dilakukan secara terencana dan sistematis guna untuk

memperoleh hasil atau data-data yang akan dianalisis hingga mencapai suatu kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian. Adapun prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. melakukan studi pustaka tentang materi yang berkaitan dengan aliran darah pada katup aorta, *aortic stenosis* dan metode elemen hingga;
2. mengumpulkan data, data yang dipakai pada penelitian ini merupakan data simulasi;
3. membuat model matematika aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis* yang dipengaruhi oleh kecepatan awal dan luas area katup aorta menggunakan metode elemen hingga guna mengasah kemampuan *Content Knowledge* (CK);
4. menyelesaikan model matematika aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis* menggunakan metode elemen hingga dengan pendekatan kuadratik guna mengasah kemampuan *Content Knowledge* (CK);
5. membuat algoritma dan pemograman MATLAB guna mengasah kemampuan *Technological Knowledge* (TK);
6. menjalankan program;
7. menganalisis algoritma dan keadaan aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis*;
8. membuat desain geometri aliran darah katup aorta akibat *aortic stenosis* dengan menggunakan GAMBIT guna mengasah kemampuan *Technological Knowledge* (TK);
9. simulasi menggunakan FLUENT guna mengasah kemampuan *Technological Knowledge* (TK);
10. menganalisis hasil dari penyimulasian model dengan FLUENT; dan
11. memberikan kesimpulan dan hasil.

### 3.4 Definisi Operasional

Untuk menghindari salah penafsiran, maka peneliti mendefinisikan beberapa istilah yang perlu untuk dipahami sebagai berikut.

1. Pemodelan matematika

Pemodelan matematika adalah proses penjabaran memecahkan suatu masalah untuk memperoleh dan memanfaatkan persamaan atau fungsi matematika dari permasalahan tersebut.

2. Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga adalah prosedur numerik yang digunakan untuk memecahkan masalah mekanika kontinum dengan ketelitian yang dapat diterima oleh rekayasawan.

3. *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

CFD adalah teknologi komputasi yang digunakan untuk mempelajari dan menganalisa fenomena dinamika fluida seperti aliran darah pada katup aorta dan interaksinya.

4. MATLAB

MATLAB atau *Matrix Laboratory* merupakan suatu program untuk analisis komputasi numerik yang mempunyai bentuk dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks.

5. GAMBIT

GAMBIT (*Geometry and Mesh Building Intelligent Toolkit*) adalah salah satu *software* CFD yang digunakan untuk menganalisis CFD dengan cara membuat model dan melakukan *meshing* pada model.

6. FLUENT

FLUENT adalah salah satu *software* CFD yang memiliki struktur yang lebih lengkap dan menyediakan *mesh* dengan peralatan lengkap sehingga dapat menyelesaikan permasalahan aliran darah katup aorta dengan mudah meskipun bentuknya tidak teratur.

7. TCK (*Technological Content Knowledge*)

TCK adalah dasar pengetahuan yang bertujuan untuk memadukan antara pengetahuan teknologi pendidikan dan pengetahuan konten dalam suatu pembelajaran.

## 8. Katup Aorta

Katup aorta adalah katup yang terletak antara ventrikel kiri dan aorta yang berfungsi untuk membuka dan menutup secara pasif agar aliran darah mengalir ke seluruh tubuh dengan arah yang sama dan tidak balik arah.

## 9. *Aortic Stenosis*

*Aortic stenosis* adalah kondisi penyempitan pada katup aorta yang disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya: kelainan kongenital, penumpukan kalisum dan demam reumatik.

### 3.5 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data merupakan cara yang dilakukan dalam penelitian guna untuk memperoleh data atau informasi yang valid dalam mencapai tujuan penelitian. Metode pengumpulan data dalam penelitian ini adalah metode dokumentasi. Menurut Arikunto (2006: 231), metode dokumentasi adalah metode pengumpulan data yang berupa hal-hal atau variabel yang berupa 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 data dan catatan pada internet. Data yang meliputi koefisien akan diperoleh dari data dan catatan internet, buku biologi, buku fisika, buku patologi, serta mengenai buku anatomi dan fisiologi kedokteran. Data berupa koefisien yang diperoleh meliputi data darah dan aliran darah, jantung, katup aorta, *aortic stenosis*, dan sebagainya. Peneliti juga akan memperoleh data dari pengamatan (observasi), wawancara, kuesioner dan tes. Untuk mengasah kemampuan TCK melalui analisis numerik aliran darah pada katub aorta akibat *aortic stenosis*, peneliti meminta bantuan lima senior yang merupakan alumni mahasiswa Pendidikan Matematika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember dan pernah melakukan penelian sejenis sebagai validator.

### 3.6 Data dan Analisis Data

Analisis data merupakan bagian terpenting dalam metode ilmiah karena dijadikan sebagai proses untuk memecahkan persoalan penelitian dan mendapatkan rumusan hipotesis berdasarkan data yang diperoleh. Data adalah keterangan, bukti atau fakta tentang suatu kenyataan yang masih mentah dan belum diolah. Dalam menganalisis data, hal yang harus dilakukan terlebih dulu adalah pengumpulan data yang dibedakan dalam kelompok-kelompok, dikategorisasi, diolah sedemikian rupa, sehingga data tersebut mempunyai makna dan mudah dipahami untuk menjawab persoalan penelitian. Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data simulasi.

Model matematika aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis* yang telah dibentuk dengan metode elemen hingga dan didiskritisasi menjadi beberapa elemen yang lebih sederhana. Dengan metode tersebut, didapatkan matriks yang menyatakan persamaan yang akan diselesaikan secara numerik dengan menggunakan MATLAB sehingga diperoleh penyelesaian numerik yang konvergen. Hasil dari penyelesaian ini mendekati penyelesaian eksak dari persamaan diferensialnya.

Apabila dalam perhitungan MATLAB terdapat eror yang kecil antara perhitungan MATLAB dengan nilai sebenarnya, maka hasil yang diperoleh benar. 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 diperoleh hasil yang benar dan tepat. Batasan untuk eror penelitian ini adalah 0,01. Setelah melakukan simulasi model matematika aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis*, maka keakurasian model matematika aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis* dapat ditentukan dengan menggunakan eror relatif yang terdapat pada metode Gauss-Seidel.

Model matematika aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis* dibentuk pada GAMBIT, kemudian disimulasikan dengan menggunakan *software* FLUENT. Demikian dapat dilihat dengan jelas bagaimana model matematika

aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis* yang disajikan dalam *output contour* gambar secara tiga dimensi.

### 3.7 Instrumen Validasi

Instrumen validasi digunakan peneliti untuk uji kelayakan atau kevalidan instrumen dalam mengasah kemampuan TCK melalui analisis numerik aliran darah pada katub aorta akibat *aortic stenosis* menggunakan metode elemen hingga. Karena hanya instrumen yang valid yang dapat digunakan dalam suatu penelitian. Instrumen validasi dilaksanakan dengan meminta bantuan lima senior yang merupakan alumni mahasiswa Pendidikan Matematika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember dan pernah melakukan penelitian sejenis.

### 3.8 Metode Analisis Validasi

Adapun langkah-langkah metode analisis validasi untuk menentukan tingkat kevalidan dari instrumen dijelaskan sebagai berikut.

- a. Menghitung rata-rata nilai hasil validasi dari semua validator untuk setiap indikator dirumuskan:

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

Keterangan :

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

$I_{ji}$  : rata-rata nilai indikator ke- $i$

$j$  : validator ke-

$i$  : indikator ke-

$v$  : banyak validator

- b. Rumus untuk rata-rata setiap aspek adalah:

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

Keterangan :

$A_k$  : rata-rata nilai aspek ke- $k$

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

$k$  : aspek ke-

$i$  : indikator ke-

$m$  : banyak kriteria dalam aspek ke- $k$

- c. Setiap aspek penilaian memperoleh nilai rata-rata semua kriteria. Selanjutnya menghitung rata-rata total semua aspek dengan rumus :

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

Keterangan :

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

$k$  : aspek yang dinilai

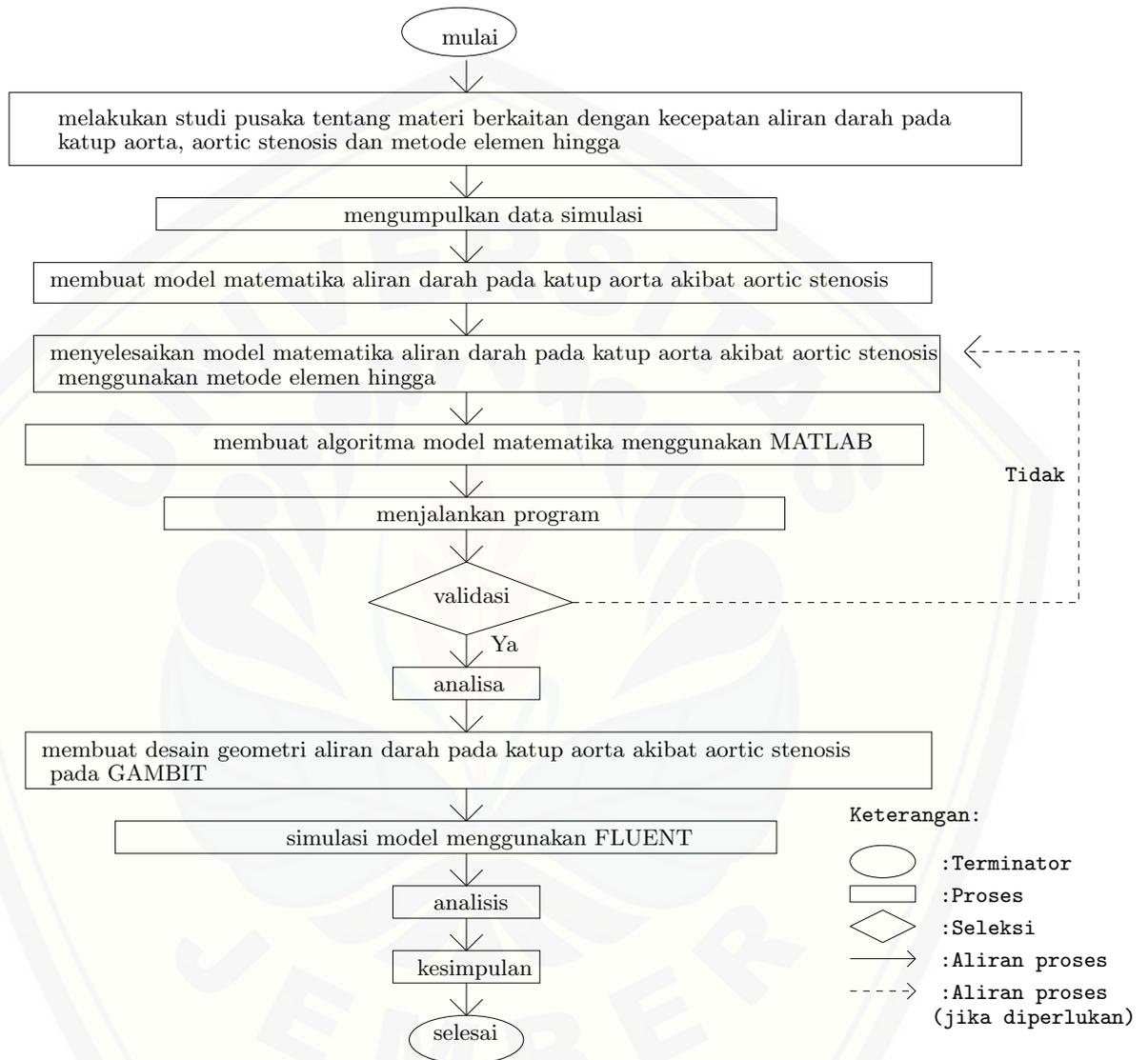
$n$  : banyak aspek

- d Langkah terakhir adalah menentukan tingkat kevalidan instrumen. Tingkat kevalidan ditentukan oleh nilai  $V_a$  dengan beberapa kriteria yang sudah dimodifikasi oleh peneliti seperti yang tercantum pada tabel berikut.

**Tabel 3.1 Tingkat Kevalidan Instrumen**

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

Instrumen dapat digunakan jika telah memenuhi kriteria valid atau sangat valid sesuai dengan tabel di atas. Apabila instrumen masih dikategorikan cukup valid, maka peneliti harus melakukan revisi sesuai saran dari validator (dimodifikasi dari Hobri, 2010).



Gambar 3.1 Bagan Alur Penelitian

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan:

1. Model matematika aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis* merupakan persamaan yang dinyatakan pada persamaan momentum. Berikut ini adalah persamaannya.

$$\frac{1}{R_p} \frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial C R_p R_d \phi_x}{\partial x} = (R_p + R_d) A \phi - \frac{\partial P}{\partial x} + \rho \frac{\partial g}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( 2\mu \left( \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) \right) \quad (5.1)$$

2. Pada aliran darah normal, kecepatan aliran cenderung konstan. tetapi ketika aliran darah mengalami *aortic stenosis*, maka kecepatan alirannya meningkat ketika aliran mendekati daerah penyempitan dan kecepatan aliran kembali seperti semula ketika menjauhi daerah penyempitan.
3. Pada penyempitan aliran darah katup aorta (*aortic stenosis*), kecepatan awal juga mempengaruhi besarnya peningkatan kecepatan aliran. Semakin besar kecepatan awal yang diberikan, maka semakin besar pula kecepatan di daerah penyempitan.
4. Persamaan penyempitan aliran darah katup aorta (*aortic stenosis*) adalah model yang efektif dalam menyelesaikan pengaruh luas area katup dan kecepatan awal terhadap kecepatan aliran udara didapatkan error relatif 0.0012243 dan 0.0017641 dengan tingkat toleransi kesalahan perhitungan 0.01.
5. Cara mengasah kemampuan TCK pada aliran darah katup aorta akibat *aortic stenosis* yaitu dengan menggunakan 5 indikator pada masing-masing kemampuan (TK dan CK) dimana setiap indikator rentang skornya 1-5 dan divalidasi oleh 5 validator.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis numerik aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis*:

1. Pemodelan penyempitan aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis* menggunakan metode elemen hingga ini bisa dikembangkan dengan melakukan penelitian menganalisis faktor lain dari aliran darah katup aorta misalnya untuk *aortic stenosis* yang dikarenakan cacat jantung bawaan (mempunyai katup lebih atau kurang dari 3 selebaran) atau dikarenakan demam rematik.
2. Pemodelan penyempitan aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis* menggunakan metode elemen hingga ini bisa dikembangkan juga dengan melakukan penelitian menganalisis pengaruh lain dari aliran darah katup aorta misalnya pengaruh volume darah terhadap aliran darah dan pengaruh kecepatan katup aorta saat membuka.
3. Bagi yang menderita *aortic stenosis*, luas area berbahaya ketika luas area mencapai  $0.0001 \text{ m}^2$ . Sehingga jika luas area kurang dari  $0.0001 \text{ m}^2$ , maka akan berakibat kematian karena suplai darah pada tubuh tidak terpenuhi.
4. Pada simulasi 3 dimensi aliran darah pada katup aorta akibat *aortic stenosis* dapat dilakukan dengan bantuan *software* simulasi selain FLUENT misalnya menggunakan ANSYS CFX.

## DAFTAR PUSTAKA

- Chai, dkk. 2013. *A Review of technological Pedagogical Content Knowledge*. Educational Technology & society, No.16, vol.2. hal 31-33
- Cook, Robert. 1998. *Konsep dan Aplikasi Metode Elemen Hingga*. Jakarta: Refika Aditama
- 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. 2011. *Buku Pegangan Mata Kuliah Mathematical Modelling Computational Fluid Dynamics*. Jember : FKIP
- 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
- Guyton dan Hall. 1997. *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran*. Jakarta: EGC
- Hobri. 2010. *Metodologi Penelitian Pengembangan*. Jember: Pena Salsabila
- Iswanto, Ripno Juli. 2012. *Pemodelan Matematika Aplikasi dan Terapannya*. Graha Ilmu: Yogyakarta
- Jack. 2006. *Metode Numerik*. Lampung: UNILA
- Knight, John F. 1995. *Jantung Kuat, Bernapas Lega*. Bandung: Indonesia Publishing House

- Ramza, Harry dan Yohannes Dewanto. 2007. *Buku Petunjuk Praktikum Teknik Pemrograman Menggunakan MATLAB*. Jakarta: Grasindo
- Pagalay, Usman. 2009. *Mathematical Modelling*. Malang: UIN-Malang Press
- Pusadan, Mohammad Yazdi. 2014. *Pemrograman MATLAB Pada Sistem Pakar Fuzzy*. Yogyakarta: Deepublish.
- Pralhad and Schultz. (Mei, 2004). *Modeling of arterial stenosis and its applications to blood diseases*. Elsevier Inc.: Mathematical Biosciences, vol. 190, hal 203-220
- 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
- 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*. Singuda Ensikom, No. 2, Vol. 7, hal 55-60
- Sholeh, Naga. 2013. *Buku Panduan Lengkap Ilmu Penyakit Dalam*. Jogjakarta: DIVA Press
- Sjukani, Mohamad. 2005. *Algoritma dan Struktur Data dengan C, C++ dan Java*. Jakarta: Mitra Wacana Media
- Syaifuddin. 2006. *Anatomi Fisiologi untuk Mahasiswa Keperawatan*. Jakarta: Buku Kedokteran EGC

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

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



LAMPIRAN A. FORMAT *PROGRAMMING* MATLABA.1 Format *Programming* Simulasi Kecepatan Aliran Darah pada Katup Aorta Akibat *Aortic Stenosis* yang Dipengaruhi Oleh Luas Area Menggunakan Metode Eksak

```

clear all;
clc;
disp('-----');
disp('          SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN DARAH          ');
disp('          PADA KATUP AORTA AKIBAT AORTIC STENOSIS          ');
disp('          DIPENGARUHI OLEH LUAS AREA                          ');
disp('          MENGGUNAKAN METODE EKSAK                              ');
disp('          Oleh :                                              ');
disp('          NOVI SAFITRI                                        ');
disp('          NIM 140210101024                                    ');
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
a1=0.0001;           %luas area 'reserve'
a2=0.0002;           %luas area 'medium'
a3=0.0003;           %luas area 'normal'
rho=0.0106;          %massa jenis darah
D=10;                %debit aliran
eta=0.35;            %kekentalan darah
miu=0.15;            %koefisien gesek
l=(N-1)*0.1;        %panjang benda
g=9.8;               %gaya gravitasi

```

```

c=0.05;
rp=0.5;
rd=0.4;
P=120;
P1=8*D*eta*l/(pi*a1^4);      %tekanan
P2=8*D*eta*l/(pi*a2^4);      %tekanan
P3=8*D*eta*l/(pi*a3^4);      %tekanan
ng=2*N+1;
disp(['Banyaknya node global y:',num2str(ng)]);
t=input('masukkan waktu = ');
dt=1;

%Matriks
A1kcl=[((c*rp*rd*(-1)/2)-((rp+rd)*a1*2*l/15))
        ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a1*1*l/15))
        ((c*rp*rd*(-1)/6)-((rp+rd)*a1*1*l/30))
        ((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a1*1*l/15))
        (-((rp+rd)*a1*8*l/15)) ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a1*1*l/15))
        ((c*rp*rd*1/6)-((rp+rd)*a1*(-1)*l/30))
        ((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a1*1*l/15))
        ((c*rp*rd*(1)/2)-((rp+rd)*a1*2*l/15))];
A2kcl=[((c*rp*rd*(-1)/2)-((rp+rd)*a2*2*l/15))
        ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a2*1*l/15))
        ((c*rp*rd*(-1)/6)-((rp+rd)*a2*1*l/30))
        ((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a2*1*l/15))
        (-((rp+rd)*a2*8*l/15)) ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a2*1*l/15))
        ((c*rp*rd*1/6)-((rp+rd)*a2*(-1)*l/30))
        ((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a2*1*l/15))
        ((c*rp*rd*(1)/2)-((rp+rd)*a2*2*l/15))];
A3kcl=[((c*rp*rd*(-1)/2)-((rp+rd)*a3*2*l/15))
        ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a3*1*l/15))

```

```

((c*rp*rd*(-1)/6)-((rp+rd)*a3*1*1/30))
((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a3*1*1/15))
(-((rp+rd)*a3*8*1/15)) ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a3*1*1/15))
((c*rp*rd*1/6)-((rp+rd)*a3*(-1)*1/30))
((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a3*1*1/15))
((c*rp*rd*(1)/2)-((rp+rd)*a3*2*1/15)]];
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=[(2*rho*1/15*rp) (1*rho*1/15*rp) ((-1)*rho*1/30*rp)
        (1*rho*1/15*rp) (8*rho*1/15*rp) (1*rho*1/15*rp)
        ((-1)*rho*1/30*rp) (1*rho*1/15*rp) (2*rho*1/15*rp)];
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
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 yang Dipengaruhi Oleh Luas Area
Katup Aorta Menggunakan Metode Eksak',...
    'color',[0 0 1],'fontweight','bold','fontsize',14);
xlabel('Panjang Domain','color',[0 0 1],...
    'fontweight','bold','fontsize',12); ylabel('Kecepatan
Kecepatan Aliran Darah','color',[0 0 1],...
    'fontweight','bold','fontsize',12);
```

## A.2 Format *Programming* Simulasi Kecepatan Aliran Darah pada Katup Aorta Akibat *Aortic Stenosis* yang Dipengaruhi Oleh Luas Area Menggunakan Metode Gauss-Seidel

```

clear all;
clc;
disp('-----');
disp('          SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN DARAH          ');
disp('          PADA KATUP AORTA AKIBAT AORTIC STENOSIS          ');
disp('          DIPENGARUHI OLEH LUAS AREA                          ');
disp('          MENGGUNAKAN METODE GAUSS-SEIDEL                      ');
disp('          Oleh :                                              ');
disp('          NOVI SAFITRI                                       ');
disp('          NIM 140210101024                                    ');
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
a1=0.0001;           %luas area 'reserve'
a2=0.0002;           %luas area 'medium'
a3=0.0003;           %luas area 'normal'
rho=0.0106;          %massa jenis darah
D=10;                %debit aliran
eta=0.35;            %kekentalan darah
miu=0.15;            %koefisien gesek
l=(N-1)*0.1;        %panjang benda
g=9.8;              %gaya gravitasi
c=0.05;

```

```

rp=0.5;
rd=0.4;
P=120;
P1=8*D*eta*1/(pi*a1^4);      %tekanan
P2=8*D*eta*1/(pi*a2^4);      %tekanan
P3=8*D*eta*1/(pi*a3^4);      %tekanan
ng=2*N+1;
disp(['Banyaknya node global y:',num2str(ng)]);
t=input('masukkan waktu = ');
dt=1;

%Matriks
A1kcl=[((c*rp*rd*(-1)/2)-((rp+rd)*a1*2*1/15))
        ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a1*1*1/15))
        ((c*rp*rd*(-1)/6)-((rp+rd)*a1*1*1/30))
        ((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a1*1*1/15))
        (-((rp+rd)*a1*8*1/15)) ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a1*1*1/15))
        ((c*rp*rd*1/6)-((rp+rd)*a1*(-1)*1/30))
        ((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a1*1*1/15))
        ((c*rp*rd*(1)/2)-((rp+rd)*a1*2*1/15))];
A2kcl=[((c*rp*rd*(-1)/2)-((rp+rd)*a2*2*1/15))
        ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a2*1*1/15))
        ((c*rp*rd*(-1)/6)-((rp+rd)*a2*1*1/30))
        ((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a2*1*1/15))
        (-((rp+rd)*a2*8*1/15)) ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a2*1*1/15))
        ((c*rp*rd*1/6)-((rp+rd)*a2*(-1)*1/30))
        ((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a2*1*1/15))
        ((c*rp*rd*(1)/2)-((rp+rd)*a2*2*1/15))];
A3kcl=[((c*rp*rd*(-1)/2)-((rp+rd)*a3*2*1/15))
        ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a3*1*1/15))
        ((c*rp*rd*(-1)/6)-((rp+rd)*a3*1*1/30))

```

```

((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a3*1*1/15))
(-(rp+rd)*a3*8*1/15)) ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a3*1*1/15))
((c*rp*rd*1/6)-((rp+rd)*a3*(-1)*1/30))
((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a3*1*1/15))
((c*rp*rd*(1)/2)-((rp+rd)*a3*2*1/15)]];
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=[(2*rho*1/15*rp) (1*rho*1/15*rp) ((-1)*rho*1/30*rp)
        (1*rho*1/15*rp) (8*rho*1/15*rp) (1*rho*1/15*rp)
        ((-1)*rho*1/30*rp) (1*rho*1/15*rp) (2*rho*1/15*rp)];
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
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
```

```

%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);
    end
end

```

```
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(reller)]);
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 yang Dipengaruhi Oleh Luas Area  
Katup Aorta Menggunakan Gauss-Seidel',...  
      'color',[0 0 1],'fontweight','bold','fontsize',14);  
xlabel('Panjang Domain','color',[0 0 1],...  
      'fontweight','bold','fontsize',12); ylabel('Kecepatan  
Kecepatan Aliran Darah','color',[0 0 1],...  
      'fontweight','bold','fontsize',12);  
disp('Gauss-Seidel method converged');
```



### A.3 Format *Programming* Simulasi Kecepatan Aliran Darah pada Katup Aorta Akibat *Aortic Stenosis* yang Dipengaruhi Oleh Kecepatan Awal Menggunakan Metode Eksak

```

clear all;
clc;
disp('-----');
disp('          SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN DARAH          ');
disp('          PADA KATUP AORTA AKIBAT AORTIC STENOSIS          ');
disp('          DIPENGARUHI OLEH KECEPATAN AWAL                    ');
disp('          MENGGUNAKAN METODE EKSAK                            ');
disp('          Oleh :                                             ');
disp('          NOVI SAFITRI                                       ');
disp('          NIM 140210101024                                   ');
disp('-----');
%Persamaan momentum
N=input('masukkan banyak diskritisasi = ');
%a=input('masukkan luas area = ');
if A<0
    msgbox('A tidak boleh kurang dari 0 ');
    return;
end
u1=2.5;          %kecepatan awal katup aorta
u2=1;           %kecepatan awal katup aorta
u3=0.5;        %kecepatan awal katup aorta
D=0.3;         %debit aliran
a1=D/u1;
a2=D/u2;
a3=D/u3;
u=0.05;
rho=0.0106;    %massa jenis darah
eta=0.35;     %kekentalan darah

```

```

miu=0.15; %koefisien gesek
l=(N-1)*0.1; %panjang benda
g=9.8; % gaya gravitasi
c=0.05;
rp=0.5;
rd=0.4;
P=120;
P1=P+(1/2)*rho*(u^2-u1^2); %tekanan
P2=P+(1/2)*rho*(u^2-u2^2); %tekanan
P3=P+(1/2)*rho*(u^2-u3^2); %tekanan
ng=2*N+1;
disp(['Banyaknya node global y:',num2str(ng)]);
t=input('masukkan waktu = ');
dt=1;

%Matriks
A1kcl=[((c*rp*rd*(-1)/2)-((rp+rd)*a1*2*1/15))
        ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a1*1*1/15))
        ((c*rp*rd*(-1)/6)-((rp+rd)*a1*1*1/30))
        ((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a1*1*1/15))
        (-((rp+rd)*a1*8*1/15)) ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a1*1*1/15))
        ((c*rp*rd*1/6)-((rp+rd)*a1*(-1)*1/30))
        ((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a1*1*1/15))
        ((c*rp*rd*(1)/2)-((rp+rd)*a1*2*1/15))];
A2kcl=[((c*rp*rd*(-1)/2)-((rp+rd)*a2*2*1/15))
        ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a2*1*1/15))
        ((c*rp*rd*(-1)/6)-((rp+rd)*a2*1*1/30))
        ((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a2*1*1/15))
        (-((rp+rd)*a2*8*1/15)) ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a2*1*1/15))
        ((c*rp*rd*1/6)-((rp+rd)*a2*(-1)*1/30))
        ((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a2*1*1/15))

```

```

        ((c*rp*rd*(1)/2)-((rp+rd)*a2*2*1/15));
A3kcl=[((c*rp*rd*(-1)/2)-((rp+rd)*a3*2*1/15))
        ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a3*1*1/15))
        ((c*rp*rd*(-1)/6)-((rp+rd)*a3*1*1/30))
        ((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a3*1*1/15))
        (-((rp+rd)*a3*8*1/15)) ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a3*1*1/15))
        ((c*rp*rd*1/6)-((rp+rd)*a3*(-1)*1/30))
        ((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a3*1*1/15))
        ((c*rp*rd*(1)/2)-((rp+rd)*a3*2*1/15))];
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=[(2*rho*1/15*rp) (1*rho*1/15*rp) ((-1)*rho*1/30*rp)
        (1*rho*1/15*rp) (8*rho*1/15*rp) (1*rho*1/15*rp)
        ((-1)*rho*1/30*rp) (1*rho*1/15*rp) (2*rho*1/15*rp)];
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
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 yang Dipengaruhi Oleh Kecepatan Awal
Katup Aorta Menggunakan Metode Eksak',...
'color',[0 0 1],'fontweight','bold','fontsize',14);
xlabel('Panjang Domain','color',[0 0 1],...
'fontweight','bold','fontsize',12); ylabel('Kecepatan
Kecepatan Aliran Darah','color',[0 0 1],...
'fontweight','bold','fontsize',12);
```

#### A.4 Format *Programming* Simulasi Kecepatan Aliran Darah pada Katup Aorta Akibat *Aortic Stenosis* yang Dipengaruhi Oleh Kecepatan Awal Menggunakan Metode Gauss-Seidel

```

clear all;
clc;
disp('-----');
disp('          SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN DARAH          ');
disp('          PADA KATUP AORTA AKIBAT AORTIC STENOSIS          ');
disp('          DIPENGARUHI OLEH KECEPATAN AWAL                    ');
disp('          MENGGUNAKAN METODE GAUSS-SEIDEL                      ');
disp('          Oleh :                                              ');
disp('          NOVI SAFITRI                                       ');
disp('          NIM 140210101024                                    ');
disp('-----');
%Persamaan momentum
N=input('masukkan banyak diskritisasi = ');
%a=input('masukkan luas area = ');
if A<0
    msgbox('A tidak boleh kurang dari 0 ');
    return;
end
u1=2.5;          %kecepatan awal katup aorta
u2=1;           %kecepatan awal katup aorta
u3=0.5;        %kecepatan awal katup aorta
D=0.3;         %debit aliran
a1=D/u1;
a2=D/u2;
a3=D/u3;
u=0.05;
rho=0.0106;    %massa jenis darah
eta=0.35;     %kekentalan darah

```

```

miu=0.15; %koefisien gesek
l=(N-1)*0.1; %panjang benda
g=9.8; %gaya gravitasi
c=0.05;
rp=0.5;
rd=0.4;
P=120;
P1=P+(1/2)*rho*(u^2-u1^2); %tekanan
P2=P+(1/2)*rho*(u^2-u2^2); %tekanan
P3=P+(1/2)*rho*(u^2-u3^2); %tekanan
ng=2*N+1;
disp(['Banyaknya node global y:',num2str(ng)]);
t=input('masukkan waktu = ');
dt=1;

%Matriks
A1kcl=[((c*rp*rd*(-1)/2)-((rp+rd)*a1*2*1/15))
        ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a1*1*1/15))
        ((c*rp*rd*(-1)/6)-((rp+rd)*a1*1*1/30))
        ((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a1*1*1/15))
        (-((rp+rd)*a1*8*1/15)) ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a1*1*1/15))
        ((c*rp*rd*1/6)-((rp+rd)*a1*(-1)*1/30))
        ((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a1*1*1/15))
        ((c*rp*rd*(1)/2)-((rp+rd)*a1*2*1/15))];
A2kcl=[((c*rp*rd*(-1)/2)-((rp+rd)*a2*2*1/15))
        ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a2*1*1/15))
        ((c*rp*rd*(-1)/6)-((rp+rd)*a2*1*1/30))
        ((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a2*1*1/15))
        (-((rp+rd)*a2*8*1/15)) ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a2*1*1/15))
        ((c*rp*rd*1/6)-((rp+rd)*a2*(-1)*1/30))
        ((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a2*1*1/15))

```

```

        ((c*rp*rd*(1)/2)-((rp+rd)*a2*2*1/15));
A3kcl=[((c*rp*rd*(-1)/2)-((rp+rd)*a3*2*1/15))
        ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a3*1*1/15))
        ((c*rp*rd*(-1)/6)-((rp+rd)*a3*1*1/30))
        ((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a3*1*1/15))
        (-((rp+rd)*a3*8*1/15)) ((c*rp*rd*2/3)-((rp+rd)*a3*1*1/15))
        ((c*rp*rd*1/6)-((rp+rd)*a3*(-1)*1/30))
        ((c*rp*rd*(-2)/3)-((rp+rd)*a3*1*1/15))
        ((c*rp*rd*(1)/2)-((rp+rd)*a3*2*1/15))];
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=[(2*rho*1/15*rp) (1*rho*1/15*rp) ((-1)*rho*1/30*rp)
        (1*rho*1/15*rp) (8*rho*1/15*rp) (1*rho*1/15*rp)
        ((-1)*rho*1/30*rp) (1*rho*1/15*rp) (2*rho*1/15*rp)];
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
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
```

```
%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(reller)]);
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 yang Dipengaruhi Oleh Luas Area
Katup Aorta Menggunakan Gauss-Seidel',...
      'color',[0 0 1],'fontweight','bold','fontsize',14);
xlabel('Panjang Domain','color',[0 0 1],...
      'fontweight','bold','fontsize',12); ylabel('Kecepatan
Kecepatan Aliran Darah','color',[0 0 1],...
      'fontweight','bold','fontsize',12);
disp('Gauss-Seidel method converged');
```



LAMPIRAN B. HASIL SIMULASI MATLAB DENGAN METODE EKSAK

B.1 Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Darah pada Katup Aorta Akibat *Aortic Stenosis* dengan Luas Area  $0.0001 \text{ m}^2$ ,  $0.0002 \text{ m}^2$  dan  $0.0003 \text{ m}^2$

Domain ke-	$0.0001 \text{ m}^2 \text{ (m/s)}$	$0.0002 \text{ m}^2 \text{ (m/s)}$	$0.0003 \text{ m}^2 \text{ (m/s)}$
1	0	0	0
2	0.030139	0.030219	0.030297
3	0.090781	0.090909	0.091029
4	0.15218	0.15213	0.15207
5	0.21439	0.21393	0.21346
6	0.27746	0.27637	0.27526
7	0.34145	0.3395	0.33752
8	0.40642	0.40336	0.40028
9	0.47243	0.46803	0.46361
10	0.53953	0.53354	0.52756
11	0.60778	0.59996	0.59217
12	0.67725	0.66734	0.6575
13	0.74799	0.73574	0.72361
14	0.82008	0.80522	0.79054
15	0.89356	0.87583	0.85834
16	0.96852	0.94762	0.92707
17	1.045	1.0207	0.99679
18	1.1231	1.095	1.0675
19	1.2028	1.1707	1.1394
20	1.2843	1.2479	1.2123
21	1.3676	1.3265	1.2865
22	1.4527	1.4066	1.3619
23	1.5398	1.4884	1.4385
24	1.6289	1.5718	1.5165
25	1.72	1.6569	1.5959

Domain ke-	0.0001 $m^2$ (m/s)	0.0002 $m^2$ (m/s)	0.0003 $m^2$ (m/s)
26	1.8133	1.7438	1.6767
27	1.9088	1.8325	1.759
28	2.0066	1.9231	1.8429
29	2.1067	2.0157	1.9283
30	2.2093	2.1102	2.0153
31	2.3143	2.2068	2.104
32	2.422	2.3055	2.1943
33	2.5322	2.4064	2.2865
34	2.6452	2.5095	2.3804
35	2.7609	2.6149	2.4762
36	2.8795	2.7226	2.5739
37	3.001	2.8327	2.6734
38	3.1255	2.9453	2.775
39	3.2531	3.0603	2.8785
40	3.3838	3.1779	2.9841
41	3.5177	3.2981	3.0917
42	3.6549	3.421	3.2015
43	3.7955	3.5465	3.3134
44	3.9394	3.6748	3.4274
45	4.0869	3.8059	3.5437
46	4.2379	3.9399	3.6623
47	4.3925	4.0768	3.7831

**B.2 Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Darah pada Katup Aorta Akibat *Aortic Stenosis* dengan Kecepatan Awal 2.5 m/s, 1 m/s dan 0.5 m/s**

Domain ke-	2.5 m/s (m/s)	1 m/s (m/s)	0.5 m/s (m/s)
1	0	0	0
2	0.014169	0.0066774	0.0044468
3	0.042687	0.020075	0.013359
4	0.071569	0.033558	0.02231
5	0.10082	0.047126	0.031298
6	0.13044	0.060781	0.040325
7	0.16043	0.074523	0.049389
8	0.19081	0.088351	0.058492
9	0.22156	0.10227	0.067634
10	0.2527	0.11627	0.076814
11	0.28423	0.13036	0.086033
12	0.31615	0.14454	0.09529
13	0.34847	0.15881	0.10459
14	0.38119	0.17317	0.11392
15	0.41431	0.18762	0.1233
16	0.44784	0.20216	0.13271
17	0.48178	0.21679	0.14217
18	0.51614	0.23152	0.15166
19	0.55092	0.24633	0.16119
20	0.58612	0.26124	0.17076
21	0.62175	0.27623	0.18038
22	0.65781	0.29133	0.19003
23	0.6943	0.30651	0.19972
24	0.73124	0.32179	0.20946
25	0.76862	0.33716	0.21923

Domain ke-	2.5 m/s (m/s)	1 m/s (m/s)	0.5 m/s (m/s)
26	0.80645	0.35263	0.22905
27	0.84473	0.3682	0.2389
28	0.88347	0.38386	0.2488
29	0.92267	0.39961	0.25873
30	0.96233	0.41546	0.26871
31	1.0025	0.43141	0.27873
32	1.0431	0.44746	0.28879
33	1.0842	0.46361	0.2989
34	1.1257	0.47985	0.30904
35	1.1678	0.49619	0.31923
36	1.2103	0.51263	0.32945
37	1.2534	0.52918	0.33972
38	1.2969	0.54582	0.35004
39	1.341	0.56256	0.36039
40	1.3856	0.57941	0.37079
41	1.4306	0.59635	0.38123
42	1.4762	0.6134	0.39171
43	1.5224	0.63055	0.40223
44	1.569	0.64781	0.4128
45	1.6162	0.66516	0.42341
46	1.664	0.68263	0.43407
47	1.7122	0.70019	0.44476
48	1.7611	0.71787	0.45551
49	1.8104	0.73565	0.46629
50	1.8604	0.75353	0.47712

Domain ke-	2.5 m/s (m/s)	1 m/s (m/s)	0.5 m/s (m/s)
51	1.9109	0.77152	0.48799
52	1.962	0.78962	0.49891
53	2.0136	0.80783	0.50987
54	2.0659	0.82614	0.52088
55	2.1187	0.84456	0.53193
56	2.1721	0.8631	0.54302
57	2.2261	0.88174	0.55416
58	2.2807	0.90049	0.56534
59	2.336	0.91935	0.57657
60	2.3918	0.93833	0.58785
61	2.4483	0.95742	0.59917
62	2.5053	0.97661	0.61053
63	2.5631	0.99593	0.62195
63	2.6214	1.0154	0.6334
64	2.6804	1.0349	0.64491
65	2.7401	1.0545	0.65645
66	2.8003	1.0743	0.66805
67	2.8613	1.0942	0.67969
68	2.9229	1.1142	0.69138
69	2.9852	1.1343	0.70311
70	3.0482	1.1545	0.7149
71	3.1119	1.1749	0.72672
72	3.1762	1.1954	0.7386
73	3.2413	1.216	0.75052
74	3.307	1.2367	0.76249

Domain ke-	2.5 m/s (m/s)	1 m/s (m/s)	0.5 m/s (m/s)
75	3.3735	1.2575	0.77451
76	3.4407	1.2784	0.78658
77	3.5086	1.2995	0.79869
78	3.5772	1.3207	0.81085
79	3.6466	1.342	0.82306
80	3.7167	1.3635	0.83532
81	3.7876	1.385	0.84762
82	3.8592	1.4067	0.85998
83	3.9316	1.4285	0.87238
84	4.0047	1.4504	0.88483
85	4.0787	1.4725	0.89734
86	4.1534	1.4947	0.90989
87	4.2289	1.517	0.92249
88	4.3052	1.5394	0.93514
89	4.3823	1.562	0.94783

LAMPIRAN C.HASIL SIMULASI MATLAB DENGAN METODE GAUSS-SEIDEL

C.1 Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Darah pada Katup Aorta Akibat *Aortic Stenosis* dengan Luas Area  $0.0001 \text{ m}^2$ ,  $0.0002 \text{ m}^2$  dan  $0.0003 \text{ m}^2$

Domain ke-	$0.0001 \text{ m}^2 \text{ (m/s)}$	$0.0002 \text{ m}^2 \text{ (m/s)}$	$0.0003 \text{ m}^2 \text{ (m/s)}$
1	0	0	0
2	0.030139	0.030219	0.030297
3	0.090781	0.090909	0.091029
4	0.15218	0.15213	0.15207
5	0.21439	0.21393	0.21346
6	0.27746	0.27637	0.27526
7	0.34145	0.3395	0.33752
8	0.40642	0.40336	0.40028
9	0.47243	0.46803	0.46361
10	0.53953	0.53354	0.52756
11	0.60778	0.59996	0.59217
12	0.67725	0.66734	0.6575
13	0.74799	0.73574	0.72361
14	0.82008	0.80522	0.79054
15	0.89356	0.87583	0.85834
16	0.96852	0.94762	0.92707
17	1.045	1.0207	0.99679
18	1.1231	1.095	1.0675
19	1.2028	1.1707	1.1394
20	1.2843	1.2479	1.2123
21	1.3676	1.3265	1.2865
22	1.4527	1.4066	1.3619
23	1.5398	1.4884	1.4385
24	1.6289	1.5718	1.5165
25	1.72	1.6569	1.5959

Domain ke-	0.0001 $m^2$ (m/s)	0.0002 $m^2$ (m/s)	0.0003 $m^2$ (m/s)
26	1.8133	1.7438	1.6767
27	1.9088	1.8325	1.759
28	2.0066	1.9231	1.8429
29	2.1067	2.0157	1.9283
30	2.2093	2.1102	2.0153
31	2.3143	2.2068	2.104
32	2.422	2.3055	2.1943
33	2.5322	2.4064	2.2865
34	2.6452	2.5095	2.3804
35	2.7609	2.6149	2.4762
36	2.8795	2.7226	2.5739
37	3.001	2.8327	2.6734
38	3.1255	2.9453	2.775
39	3.2531	3.0603	2.8785
40	3.3838	3.1779	2.9841
41	3.5177	3.2981	3.0917
42	3.6549	3.421	3.2015
43	3.7955	3.5465	3.3134
44	3.9394	3.6748	3.4274
45	4.0869	3.8059	3.5437
46	4.2379	3.9399	3.6623
47	4.3925	4.0768	3.7831

**C.2 Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Darah pada Katup Aorta Akibat *Aortic Stenosis* dengan Kecepatan Awal 2.5 m/s, 1 m/s dan 0.5 m/s**

Domain ke-	2.5 m/s (m/s)	1 m/s (m/s)	0.5 m/s (m/s)
1	0	0	0
2	0.014169	0.0066774	0.0044468
3	0.042687	0.020075	0.013359
4	0.071569	0.033558	0.02231
5	0.10082	0.047126	0.031298
6	0.13044	0.060781	0.040325
7	0.16043	0.074523	0.049389
8	0.19081	0.088351	0.058492
9	0.22156	0.10227	0.067634
10	0.2527	0.11627	0.076814
11	0.28423	0.13036	0.086033
12	0.31615	0.14454	0.09529
13	0.34847	0.15881	0.10459
14	0.38119	0.17317	0.11392
15	0.41431	0.18762	0.1233
16	0.44784	0.20216	0.13271
17	0.48178	0.21679	0.14217
18	0.51614	0.23152	0.15166
19	0.55092	0.24633	0.16119
20	0.58612	0.26124	0.17076
21	0.62175	0.27623	0.18038
22	0.65781	0.29133	0.19003
23	0.6943	0.30651	0.19972
24	0.73124	0.32179	0.20946
25	0.76862	0.33716	0.21923

Domain ke-	2.5 m/s (m/s)	1 m/s (m/s)	0.5 m/s (m/s)
26	0.80645	0.35263	0.22905
27	0.84473	0.3682	0.2389
28	0.88347	0.38386	0.2488
29	0.92267	0.39961	0.25873
30	0.96233	0.41546	0.26871
31	1.0025	0.43141	0.27873
32	1.0431	0.44746	0.28879
33	1.0842	0.46361	0.2989
34	1.1257	0.47985	0.30904
35	1.1678	0.49619	0.31923
36	1.2103	0.51263	0.32945
37	1.2534	0.52918	0.33972
38	1.2969	0.54582	0.35004
39	1.341	0.56256	0.36039
40	1.3856	0.57941	0.37079
41	1.4306	0.59635	0.38123
42	1.4762	0.6134	0.39171
43	1.5224	0.63055	0.40223
44	1.569	0.64781	0.4128
45	1.6162	0.66516	0.42341
46	1.664	0.68263	0.43407
47	1.7122	0.70019	0.44476
48	1.7611	0.71787	0.45551
49	1.8104	0.73565	0.46629
50	1.8604	0.75353	0.47712

Domain ke-	2.5 m/s (m/s)	1 m/s (m/s)	0.5 m/s (m/s)
51	1.9109	0.77152	0.48799
52	1.962	0.78962	0.49891
53	2.0136	0.80783	0.50987
54	2.0659	0.82614	0.52088
55	2.1187	0.84456	0.53193
56	2.1721	0.8631	0.54302
57	2.2261	0.88174	0.55416
58	2.2807	0.90049	0.56534
59	2.336	0.91935	0.57657
60	2.3918	0.93833	0.58785
61	2.4483	0.95742	0.59917
62	2.5053	0.97661	0.61053
63	2.5631	0.99593	0.62195
63	2.6214	1.0154	0.6334
64	2.6804	1.0349	0.64491
65	2.7401	1.0545	0.65645
66	2.8003	1.0743	0.66805
67	2.8613	1.0942	0.67969
68	2.9229	1.1142	0.69138
69	2.9852	1.1343	0.70311
70	3.0482	1.1545	0.7149
71	3.1119	1.1749	0.72672
72	3.1762	1.1954	0.7386
73	3.2413	1.216	0.75052
74	3.307	1.2367	0.76249

Domain ke-	2.5 m/s (m/s)	1 m/s (m/s)	0.5 m/s (m/s)
75	3.3735	1.2575	0.77451
76	3.4407	1.2784	0.78658
77	3.5086	1.2995	0.79869
78	3.5772	1.3207	0.81085
79	3.6466	1.342	0.82306
80	3.7167	1.3635	0.83532
81	3.7876	1.385	0.84762
82	3.8592	1.4067	0.85998
83	3.9316	1.4285	0.87238
84	4.0047	1.4504	0.88483
85	4.0787	1.4725	0.89734
86	4.1534	1.4947	0.90989
87	4.2289	1.517	0.92249
88	4.3052	1.5394	0.93514
89	4.3823	1.562	0.94783

**LAMPIRAN D. Matrik Penelitian**  
 Judul Penelitian: **Permasalahan**

Metode Penelitian	Sumber Data	Indikator	Variabel	Judul Penelitian
1. Simulasi	1. Aymen L, Szekey G. 2017. <i>Eulerian Finite Element Method for The Numerical Modelling of Fluid Dynamics of Natural Pathological Aortic Valves.</i> Journal of Computational and Applied Mathematics 319, 236-261.	1. Untuk mengembangkan model matematika aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> 2. Untuk mengetahui analisis pengaruh luas area pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> terhadap kecepatan aliran darah 3. Untuk mengetahui analisis pengaruh kecepatan awal pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> terhadap kecepatan aliran darah 4. Untuk mengetahui efektivitas metode elemen hingga dalam menganalisis masalah aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic</i>	1. Aliran darah 2. Katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> 3. Metode elemen hingga 4. Kemampuan TCK	1. Bagaimana model matematika aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan metode elemen hingga? 2. Bagaimana analisis pengaruh luas area pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> terhadap kecepatan aliran darah? 3. Bagaimana analisis pengaruh kecepatan awal pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> terhadap kecepatan aliran darah? 4. Bagaimana efektivitas metode elemen hingga dalam menganalisis masalah aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> berdasarkan eror yang didapat?

Judul	Permasalahan	Variabel	Indikator	Sumber Data	Metode Penelitian
_____	5. Bagaimana kaitan aliran darah pada katup aorta menggunakan metode elemen hingga dalam mengasah kemampuan TCK?	_____	<p>_____</p> <p><i>stenosis</i> berdasarkan eror yang didapat</p> <p>5. Untuk mengetahui pada katup aorta menggunakan metode elemen hingga dalam mengasah kemampuan TCK</p>	2. Kepustakaan	

## LAMPIRAN E. PEDOMAN VALIDASI

**PEDOMAN VALIDASI  
TUGAS AKHIR SARJANA PENDIDIKAN MATEMATIKA**

NAMA MAHASISWA : NOVI SAFITRI  
 NIM : 140210101024  
 JUDUL SKRIPSI : ANALISIS NUMERIK ALIRAN DARAH  
 PADA KATUP AORTA AKIBAT *AORTIC STENOSIS*  
 MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA  
 UNTUK MENGASAH KEMAMPUAN TCK

Petunjuk!

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

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowledge</i> )	Peneliti memiliki pengetahuan cukup tentang kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan metode elemen hingga.					
	Peneliti dapat menentukan variabel keadaan yang akan diteliti.					
	Peneliti dapat mengembangkan model matematika kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> .					

Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowledge</i> )	Peneliti dapat menyelesaikan model matematika kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan metode elemen hingga.					
	Peneliti dapat menganalisis hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.					
TK ( <i>Techno-logical Knowledge</i> )	Peneliti dapat menuliskan bahasa pemrograman untuk menyelesaikan model matematika kecepatan aliran darah pada atup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan metode elemen hingga pada MATLAB.					
	Peneliti dapat membuat bentuk geometri pada benda yang akan diteliti pada GAMBIT.					
	Peneliti dapat menentukan tipe batas tertentu ( <i>wall, inlet, outlet</i> ) pada bentuk geometri benda.					

Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
TK ( <i>Techno- logical Knowledge</i> )	Peneliti dapat menentukan kondisi batas pada setiap variabel keadaan sebagai input data pada FLUENT.					
	Peneliti dapat membuat simulasi kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan FLUENT.					

IDENTITAS *VALIDATOR*

NAMA : .....

Jember, .....

*Validator*

(.....)

**LAMPIRAN F. Lembar Analisis Hasil Validasi**

Hasil analisis validasi oleh validator dijelaskan pada tabel berikut.

Aspek kemampuan TCK	Indikator	Penilaian Validator ke-					$I_i$	$A_i$	Capaian Teoritis	Capaian Validasi	Capaian Kumulatif Teoritis	Capaian Kumulatif Validasi	$V_a$
		1	2	3	4	5							
CK	1a	5	4	5	4	4	4.4	50%	44.4%	50%	44.4%	4.42	
	1b	4	5	5	5	4	4.6						
	1c	4	4	5	4	4	4.2						
	1d	5	4	4	4	5	4.4						
	1e	4	5	4	5	5	4.6						
TK	2a	5	5	3	4	4	4.2	50%	44%	100%	88.4%	4.42	
	2b	5	4	3	5	5	4.4						
	2c	5	4	4	5	4	4.4						
	2d	5	4	5	5	4	4.6						
	2e	5	4	4	4	5	4.4						

Berdasarkan hasil analisis tingkat kevalidan instrumen mengenai kemampuan TCK (*Technological and Content Knowledge*) adalah valid.

## E1. Penilaian Validator

## Penilaian Validator 1

115

## LAMPIRAN E. PEDOMAN VALIDASI

**PEDOMAN VALIDASI  
TUGAS AKHIR SARJANA PENDIDIKAN MATEMATIKA**

NAMA MAHASISWA : NOVI SAFITRI  
 NIM : 140210101024  
 JUDUL SKRIPSI : ANALISIS NUMERIK ALIRAN DARAH  
 PADA KATUP AORTA AKIBAT *AORTIC STENOSIS*  
 MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA  
 UNTUK MENGASAH KEMAMPUAN TCK

Petunjuk!

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

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowledge</i> )	Peneliti memiliki pengetahuan cukup tentang kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan metode elemen hingga.					✓
	Peneliti dapat menentukan variabel keadaan yang akan diteliti.				✓	
	Peneliti dapat mengembangkan model matematika kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> .				✓	

Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowledge</i> )	Peneliti dapat menyelesaikan model matematika kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan metode elemen hingga.					✓
	Peneliti dapat menganalisis hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.				✓	
TK ( <i>Techno-logical Knowledge</i> )	Peneliti dapat menuliskan bahasa pemrograman untuk menyelesaikan model matematika kecepatan aliran darah pada atup aorta akibat akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan metode elemen hingga pada MATLAB.					✓
	Peneliti dapat membuat bentuk geometri pada benda yang akan diteliti pada GAMBIT.					✓
	Peneliti dapat menentukan tipe batas tertentu ( <i>wall, inlet, outlet</i> ) pada bentuk geometri benda.					✓

Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
TK ( <i>Technological Knowledge</i> )	Peneliti dapat menentukan kondisi batas pada setiap variabel keadaan sebagai input data pada FLUENT.					✓
	Peneliti dapat membuat simulasi kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan FLUENT.					✓

IDENTITAS VALIDATOR

NAMA : Putri Nur A.

NIM : .....

Jember, 11 Juli 2018

Validator

(PUTRI NUR A.)

LAMPIRAN E. PEDOMAN VALIDASI

PEDOMAN VALIDASI  
TUGAS AKHIR SARJANA PENDIDIKAN MATEMATIKA

NAMA MAHASISWA : NOVI SAFITRI  
NIM : 140210101024  
JUDUL SKRIPSI : ANALISIS NUMERIK ALIRAN DARAH  
PADA KATUP AORTA AKIBAT *AORTIC STENOSIS*  
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA  
UNTUK MENGASAH KEMAMPUAN TCK

Petunjuk!

- a) Berilah tanda (✓) dalam kolom penilaian yang sesuai menurut pendapat Anda.  
b) Rubrik Penilaian:

- 1: peneliti TIDAK MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan;  
2: peneliti KURANG MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan;  
3: peneliti CUKUP MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan;  
4: peneliti MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan;  
5: peneliti SANGAT MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan.

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowledge</i> )	Peneliti memiliki pengetahuan cukup tentang kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan metode elemen hingga.				✓	
	Peneliti dapat menentukan variabel keadaan yang akan diteliti.					✓
	Peneliti dapat mengembangkan model matematika kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> .				✓	

Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowledge</i> )	Peneliti dapat menyelesaikan model matematika kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan metode elemen hingga.				✓	
	Peneliti dapat menganalisis hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.					✓
TK ( <i>Techno- logical Knowledge</i> )	Peneliti dapat menuliskan bahasa pemrograman untuk menyelesaikan model matematika kecepatan aliran darah pada atup aorta akibat akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan metode elemen hingga pada MATLAB.					✓
	Peneliti dapat membuat bentuk geometri pada benda yang akan di- teliti pada GAMBIT.				✓	
	Peneliti dapat menentukan tipe batas tertentu ( <i>wall, inlet, outlet</i> ) pada bentuk geometri benda.				✓	

Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
TK ( <i>Technological Knowledge</i> )	Peneliti dapat menentukan kondisi batas pada setiap variabel keadaan sebagai input data pada FLUENT.				✓	
	Peneliti dapat membuat simulasi kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan FLUENT.				✓	

IDENTITAS VALIDATOR

NAMA : Budi Adi S, S.pd

NIM : .....

Jember, 10 Juli 2018

Validator



(Budi Adi S, S.pd)

LAMPIRAN E. PEDOMAN VALIDASI

PEDOMAN VALIDASI  
TUGAS AKHIR SARJANA PENDIDIKAN MATEMATIKA

NAMA MAHASISWA : NOVI SAFITRI  
NIM : 140210101024  
JUDUL SKRIPSI : ANALISIS NUMERIK ALIRAN DARAH  
PADA KATUP AORTA AKIBAT *AORTIC STENOSIS*  
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA  
UNTUK MENGASAH KEMAMPUAN TCK

Petunjuk!

- a) Berilah tanda (✓) dalam kolom penilaian yang sesuai menurut pendapat Anda.  
b) Rubrik Penilaian:

- 1:** peneliti TIDAK MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan;  
**2:** peneliti KURANG MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan;  
**3:** peneliti CUKUP MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan;  
**4:** peneliti MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan;  
**5:** peneliti SANGAT MAMPU menunjukkan indikator yang diinginkan.

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowledge</i> )	Peneliti memiliki pengetahuan cukup tentang kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan metode elemen hingga.					✓
	Peneliti dapat menentukan variabel keadaan yang akan diteliti.					✓
	Peneliti dapat mengembangkan model matematika kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> .					✓

Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowledge</i> )	Peneliti dapat menyelesaikan model matematika kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan metode elemen hingga.				✓	
	Peneliti dapat menganalisis hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.				✓	
TK ( <i>Technological Knowledge</i> )	Peneliti dapat menuliskan bahasa pemrograman untuk menyelesaikan model matematika kecepatan aliran darah pada atup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan metode elemen hingga pada MATLAB.			✓		
	Peneliti dapat membuat bentuk geometri pada benda yang akan diteliti pada GAMBIT.			✓		
	Peneliti dapat menentukan tipe batas tertentu ( <i>wall, inlet, outlet</i> ) pada bentuk geometri benda.				✓	

Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
TK ( <i>Technological Knowledge</i> )	Peneliti dapat menentukan kondisi batas pada setiap variabel keadaan sebagai input data pada FLUENT.					✓
	Peneliti dapat membuat simulasi kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan FLUENT.				✓	

IDENTITAS VALIDATOR

NAMA : AHMAD RIZQI LAZWARDI S.Pd.

NIM : .....

Jember, 10 Juli 2018

Validator

(A. Rizqi Lazwardi S.Pd.)

LAMPIRAN E. PEDOMAN VALIDASI

PEDOMAN VALIDASI  
TUGAS AKHIR SARJANA PENDIDIKAN MATEMATIKA

NAMA MAHASISWA : NOVI SAFITRI  
 NIM : 140210101024  
 JUDUL SKRIPSI : ANALISIS NUMERIK ALIRAN DARAH  
 PADA KATUP AORTA AKIBAT *AORTIC STENOSIS*  
 MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA  
 UNTUK MENGASAH KEMAMPUAN TCK

Petunjuk!

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

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowledge</i> )	Peneliti memiliki pengetahuan cukup tentang kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan metode elemen hingga.				✓	
	Peneliti dapat menentukan variabel keadaan yang akan diteliti.					✓
	Peneliti dapat mengembangkan model matematika kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> .				✓	

Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowledge</i> )	Peneliti dapat menyelesaikan model matematika kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan metode elemen hingga.				✓	
	Peneliti dapat menganalisis hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.					✓
TK ( <i>Techno- logical Knowledge</i> )	Peneliti dapat menuliskan bahasa pemrograman untuk menyelesaikan model matematika kecepatan aliran darah pada atup aorta akibat akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan metode elemen hingga pada MATLAB.				✓	
	Peneliti dapat membuat bentuk geometri pada benda yang akan diteliti pada GAMBIT.					✓
	Peneliti dapat menentukan tipe batas tertentu ( <i>wall, inlet, outlet</i> ) pada bentuk geometri benda.					✓

Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
TK ( <i>Technological Knowledge</i> )	Peneliti dapat menentukan kondisi batas pada setiap variabel keadaan sebagai input data pada FLUENT.					✓
	Peneliti dapat membuat simulasi kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan FLUENT.				✓	

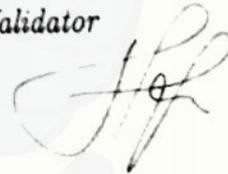
IDENTITAS VALIDATOR

NAMA : Riska Amalia Hakim

NIM : .....

Jember, 10 Juli 2017

Validator



(Riska Amalia Hakim)

LAMPIRAN E. PEDOMAN VALIDASI

PEDOMAN VALIDASI  
TUGAS AKHIR SARJANA PENDIDIKAN MATEMATIKA

NAMA MAHASISWA : NOVI SAFITRI  
 NIM : 140210101024  
 JUDUL SKRIPSI : ANALISIS NUMERIK ALIRAN DARAH  
 PADA KATUP AORTA AKIBAT *AORTIC STENOSIS*  
 MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA  
 UNTUK MENGASAH KEMAMPUAN TCK

Petunjuk!

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

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowledge</i> )	Peneliti memiliki pengetahuan cukup tentang kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan metode elemen hingga.				✓	
	Peneliti dapat menentukan variabel keadaan yang akan diteliti.				✓	
	Peneliti dapat mengembangkan model matematika kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> .				✓	

Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowledge</i> )	Peneliti dapat menyelesaikan model matematika kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan metode elemen hingga.					✓
	Peneliti dapat menganalisis hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.					✓
TK ( <i>Techno- logical Knowledge</i> )	Peneliti dapat menuliskan bahasa pemrograman untuk menyelesaikan model matematika kecepatan aliran darah pada atup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan metode elemen hingga pada MATLAB.				✓	
	Peneliti dapat membuat bentuk geometri pada benda yang akan diteliti pada GAMBIT.					✓
	Peneliti dapat menentukan tipe batas tertentu ( <i>wall, inlet, outlet</i> ) pada bentuk geometri benda.				✓	

Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
TK ( <i>Technological Knowledge</i> )	Peneliti dapat menentukan kondisi batas pada setiap variabel keadaan sebagai input data pada FLUENT.				✓	
	Peneliti dapat membuat simulasi kecepatan aliran darah pada katup aorta akibat <i>aortic stenosis</i> menggunakan FLUENT.					✓

IDENTITAS VALIDATOR

NAMA : Siti Aisyah.....

NIM : .....

Jember, 09 Juli 2018.....

Validator

*C. Aisyah*  
(SITI AISYAH.....)