



**ANALISIS NUMERIK PENYEMPITAN PEMBULUH DARAH
AKIBAT PENYAKIT ATEROSKLEROSIS MENGGUNAKAN
METODE VOLUME HINGGA**

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada
program studi pendidikan matematika*

SKRIPSI

Oleh

**Umi Mubarokah
NIM 200210101036**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
PROGRAM STUDI PENDIDIKAN MATEMATIKA
JEMBER
2025**



**ANALISIS NUMERIK PENYEMPITAN PEMBULUH DARAH
AKIBAT PENYAKIT ATEROSKLEROSIS MENGGUNAKAN
METODE VOLUME HINGGA**

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada
program studi pendidikan matematika*

SKRIPSI

Oleh

**Umi Mubarokah
NIM 200210101036**

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

Dosen Pembimbing 2 : Rafiantika Megahnia P., S.Pd., M.Si.

Dosen Penguji 1 : Edy Wihardjo, S.Pd., M.Pd., M.C.E.

Dosen Penguji 2 : Robiatul Adawiyah, S.Pd., M.Si.

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
PROGRAM STUDI PENDIDIKAN MATEMATIKA
JEMBER
2025**

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji Syukur atas kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, serta sholawat dan salam yang senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Saya persembahkan kebahagiaan ini dengan rasa syukur dan terima kasih yang mendalam kepada:

1. ibu Kamilah dan bapak Moh. Yasin selalu memberikan doa yang tidak pernah putus dan kasih sayang yang melimpah;
2. kakak tersayang Moh. Kahfi Yahya yang selalu memberikan semangat, nasihat dan dukungan tanpa henti;
3. bapak Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si. dan ibu Rafiantika Megahnia Prihandini S.Pd., M.Si., selaku dosen pembimbing skripsi yang dengan sabar memberikan ilmu dan bimbingan selama menyelesaikan skripsi ini;
4. bapak Edy Wihardjo, S.Pd., M.Pd., M.C.E. dan ibu Robiatul Adawiyah, S.Pd., M.Si., selaku dosen penguji skripsi yang dengan sabar memberikan ilmu dan saran selama menyelesaikan skripsi ini;
5. ibu Dr. Dian Kurniati, S.Pd., M. Pd., selaku dosen pembimbing akademik yang dengan sabar memberikan ilmu dan saran selama menyelesaikan skripsi ini;
6. seluruh dosen Pendidikan Matematika Universitas Jember yang telah memberikan pengalaman, ilmu, dan bimbingan selama perkuliahan;
7. para staff dan karyawan di Universitas Jember khususnya Bapak Imam Syafii dan Bapak Joni yang telah membantu, memberi nasehat, dan arahan dengan penuh kesabaran;
8. sahabat *healing* Nana dan Ochi yang telah memberikan semangat dan waktu berharga untuk membuat pengalaman menyenangkan selama perkuliahan;
9. teman-teman seperjuangan skripsi pemodelan CFD yang saling membantu berjuang dalam menyelesaikan skripsi dan seluruh teman-teman MSC Angkatan 2020.

HALAMAN MOTTO

لَهُ مُعَقَّبَاتٌ مِّنْ بَيْنِ يَدَيْهِ وَمِنْ خَلْفِهِ يَحْفَظُونَهُ مِنْ أَمْرِ اللَّهِ إِنَّ اللَّهَ لَا يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ حَتَّىٰ يُغَيِّرُوا مَا
بِأَنفُسِهِمْ وَإِذَا أَرَادَ اللَّهُ بِقَوْمٍ سُوءًا فَلَا مَرَدَّ لَهُ وَمَا لَهُمْ مِّنْ دُونِهِ مِنْ وَالٍ ﴿١١﴾

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum, sebelum mereka
mengubah keadaan diri mereka sendiri”

(QS. Ar-Rad: 11)

“Kesempatan tercipta oleh mereka yang mempersiapkannya dengan baik”

(Louis Pasteur)

“In order to succeed, we must first believe that we can”

(Nikos Kazantzakis)

PERNYATAAN ORISINILITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Umi Mubarokah

NIM : 200210101036

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Analisis Numerik Penyempitan Pembuluh Darah akibat Penyakit Aterosklerosis menggunakan Metode Volume Hingga” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum diajukan pada instansi manapun. Serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya 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 dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 20 Desember 2024

Yang menyatakan

Umi Mubarokah

NIM. 200210101036

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul “*Analisis Numerik Penyempitan Pembuluh Darah akibat Penyakit Aterosklerosis menggunakan Metode Volume Hingga*” telah diuji oleh Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember pada:

Hari : Jumat

Tanggal : 20 Desember 2024

Tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Pembimbing

Tanda Tangan

1. Pembimbing Utama

Nama : Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.

(.....)

NIP : 198205292009121003

2. Pembimbing Anggota

Nama : Rafiantika Megahnia Prihandini, S.Pd., M.Si.

(.....)

NIP : 198910052019032034

Penguji

Tanda Tangan

1. Penguji Utama

Nama : Edy Wihardjo, S.Pd., M.Pd., M.C.E.

(.....)

NIP : 197001081999031001

2. Penguji Anggota

Nama : Robiatul Adawiyah, S.Pd., M.Si.

(.....)

NIP : 199207312019032015

ABSTRACT

Atherosclerosis is a disease characterized by thickening and loss of elasticity in the arterial blood vessel wall. The main causes of atherosclerosis are hypertension, cholesterol, high triglycerides, and an unhealthy lifestyle. Atherosclerosis is caused by the buildup of yellowish plaques that are abnormally narrowed. The narrowing of the blood vessels results in a build-up known as stenosis. Narrowed arteries result in decreased blood flow and essential supplements. Arteries that are deprived of blood and oxygen increase the risk of stroke, heart failure, and heart attack. The condition of narrowed blood vessels can lead to fatal abnormalities if not treated quickly. Fatal abnormalities due to narrowed blood vessels can result in chest pain, shortness of breath, heart attack and death. This study aims to analyze the narrowing of elliptical-shaped blood vessels due to atherosclerosis disease on blood flow velocity. In this study, the mathematical model was developed and solved using the finite volume method with SIMPLE (Semi Implicit Method for Pressure Linked Equations) discretization. The software used for the simulation process is MATLAB to visualize the velocity and pressure graphs, while Ansys fluent to visualize the blood flow. The simulation results show that the greater the initial velocity and the greater the constriction, the higher the blood velocity. Meanwhile, the larger the constriction, the smaller the blood pressure. Iterations in the scaled residual graph show that the residual is close to zero so that the resulting iteration converges.

Keywords: *Atherosclerosis, Coronary Artery, Finite Volume Method, SIMPLE*

RINGKASAN

Analisis Numerik Penyempitan Pembuluh Darah akibat Penyakit Aterosklerosis menggunakan Metode Volume Hingga; Umi Mubarokah; 200210101036; 2024; 44 halaman; Program Studi Pendidikan Matematika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

Aterosklerosis merupakan penyakit yang ditandai dengan penebalan dan hilangnya sifat elastisitas pada dinding pembuluh darah arteri. Penyebab utama aterosklerosis adalah hipertensi, kolesterol, trigliserida tinggi, dan gaya hidup yang tidak sehat. Aterosklerosis disebabkan adanya penumpukan plak kekuningan yang mengalami penyempitan secara tidak normal. Penyempitan pada pembuluh darah mengakibatkan penumpukan yang dikenal dengan stenosis. Menyempitnya arteri menyebabkan aliran darah dan suplemen penting menurun. Arteri yang kekurangan darah dan oksigen mengakibatkan risiko penyakit stroke, gagal jantung, dan serangan jantung dapat meningkat. Penyempitan pembuluh darah dapat mempengaruhi tekanan darah pada pembuluh darah. Kondisi menyempitnya pembuluh darah dapat mengakibatkan kelainan fatal jika tidak ditangani secara cepat. Kelainan fatal akibat menyempitnya pembuluh darah dapat mengakibatkan nyeri dada, sesak napas, serangan jantung hingga kematian.

Berdasarkan latar belakang tersebut, dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui model matematika pada penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis. Model matematika ini diselesaikan menggunakan metode volume hingga dengan diskritisasi SIMPLE. Pada penelitian ini dilakukan analisis pengaruh penyempitan pembuluh darah berbentuk elips terhadap kecepatan aliran darah. Adapun tahapan penelitian ini meliputi: Pertama, melakukan studi pustaka tentang penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis dan mengembangkan model matematika berupa persamaan massa dan persamaan momentum. Kedua, membuat pemrograman pada MATLAB yang dijalankan untuk diskritisasi SIMPLE dipele nilai kecepatan dan tekanan yang diperbarui. Ketiga, melakukan simulasi dengan MATLAB untuk mengetahui grafik kecepatan dan tekanan aliran darah. Keempat, melakukan simulasi dengan *Ansys fluent* untuk

mengetahui pengaruh ketebalan penyempitan yang berbentuk elips terhadap kecepatan dan tekanan aliran darah. Kelima, menganalisis *scaled residual* untuk mengetahui kekonvergensi dan menentukan efektifitas metode volume hingga.

Hasil dari penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1) model matematika aliran darah pada pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis berdasarkan persamaan momentum sebagai berikut:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial 2u_{avg} \left(1 - \frac{r^2}{\left[R - \delta \sin \left(\pi \left(z - \frac{h}{L} \right) \right) \right] \Omega(t)} \right) u}{\partial x} = \frac{1}{\rho} \left(-\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] \right) \right)$$

- 2) hasil simulasi grafik menunjukkan kecepatan tercepat diperoleh dari pembuluh darah yang memiliki penyempitan paling besar pada MATLAB dan *Ansys fluent* yaitu 70% dengan kecepatan awal 0,37 m/s menghasilkan kecepatan sebesar 0,72075 m/s dan 0,9 m/s. Kecepatan terendah diperoleh dari pembuluh darah yang memiliki ketebalan penyempitan terkecil yaitu 30% dengan kecepatan awal 0,27 m/s menghasilkan kecepatan sebesar 0,501001 m/s dan 0,5 m/s. Simulasi penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis dengan ketebalan 70% adalah penyempitan paling beresiko menyebabkan pecahnya pembuluh darah karena kecepatannya melebihi batas normal yaitu 0,72075 m/s dan 0,9 m/s. Berdasarkan kecepatan awal pada penyempitan, hasil simulasi grafik menunjukkan kecepatan tercepat diperoleh dengan kecepatan awal 0,37 m/s pada penyempitan 70% yaitu 1,21986 m/s dan 1,194 m/s. Kecepatan terendah diperoleh dengan kecepatan awal 0,27 m/s pada penyempitan 30% yaitu 0,62854 m/s dan 0,566 m/s.
- 3) semakin tebal penyempitan maka kecepatan aliran darah semakin besar dan tekanan aliran darahnya akan semakin kecil. Pada hasil grafik dan simulasi pengaruh ketebalan penyempitan terhadap tekanan menunjukkan penurunan tekanan yang paling signifikan dialami oleh ketebalan penyempitan 70% dengan kecepatan awal 0,37 m/s yaitu pada MATLAB 11492,4 Pa dan *Ansys fluent* 11747,32 Pa dan penurunan tekanan paling kecil dialami oleh ketebalan penyempitan 30% dengan kecepatan awal 0,27 m/s yaitu MATLAB

11508,59 Pa dan *Ansys fluent* 11954,9 Pa. Berdasarkan kecepatan awal pada penyempitan, hasil simulasi grafik menunjukkan penurunan tekanan pada MATLAB dan *Ansys fluent* yang paling signifikan diperoleh dengan kecepatan awal 0,37 m/s pada penyempitan 70% yaitu 11542 Pa dan 11542 Pa. Penurunan tekanan paling kecil dialami oleh dengan kecepatan awal 0,27 m/s pada penyempitan 30% yaitu 11967,1 Pa dan 11954,9 Pa.

- 4) metode volume hingga merupakan metode yang efektif untuk menganalisis kecepatan dan tekanan aliran darah pada penyempitan pembuluh darah akibat aterosklerosis dengan nilai residual mendekati nol dan iterasi yang konvergen.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Analisis Numerik Penyimpatan Pembuluh Darah akibat Penyakit Aterosklerosis menggunakan Metode Volume Hingga. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Matematika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih 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 Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
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 membimbing dan memberikan ilmu;
7. Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan memberikan arahan;
8. Semua pihak yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini;

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

Jember, 20 Desember 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
PERNYATAAN ORISINILITAS	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
ABSTRACT	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR NOTASI	xvii
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Kebaruan Penelitian.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pemodelan Matematika	5
2.2 Analisis Numerik	5
2.3 Penyempitan Pembuluh Darah	6
2.3.1 Aterosklerosis	7
2.4 Fluida	8
2.4.1 Jenis-Jenis Aliran Fluida.....	8
2.5 <i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i>	9
2.6 Metode Volume Hingga	9
2.6.1 Persamaan Massa.....	9

2.6.2	Persamaan Momentum	10
2.7	Teknik Diskritisasi SIMPLE (<i>Semi Implicit Method for Pressure Linked Equation</i>)	11
2.8	Algoritma dan Pemrograman.....	11
2.8.1	<i>SOR (Successive Over Relaxation)</i>	11
2.8.2	<i>Residual Convergence</i>	12
2.9	Perangkat Lunak dalam CFD	12
2.9.1	MATLAB.....	12
2.9.2	<i>Ansys Fluent</i>	13
BAB 3.	METODE PENELITIAN	14
3.1	Jenis Penelitian	14
3.2	Definisi Operasional	14
3.3	Prosedur Penelitian	15
3.4	Tempat Penelitian	16
3.5	Metode Pengumpulan Data	16
3.6	Data dan Analisis Data	17
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1	Model Matematika Kecepatan Aliran Darah pada Pembuluh Darah akibat Penyakit Aterosklerosis	18
4.2	Penyelesaian Model Matematika Kecepatan Aliran Darah pada Penyempitan Pembuluh Darah akibat Penyakit Aterosklerosis menggunakan Diskritisasi SIMPLE	22
4.3	Efektivitas Metode Volume Hingga.....	29
4.3.1	Tahap <i>Programming</i>	29
4.3.2	<i>Iterative Convergence</i> dan Residual	30
4.3.3	Simulasi Pemodelan	30
4.4	Analisis dan Pembahasan	30
4.4.1	Komputasi MATLAB	31
4.4.2	Visualisasi Simulasi FLUENT.....	34
4.4.3	Analisis Efektivitas Metode Volume Hingga.....	39
BAB 5.	KESIMPULAN DAN SARAN	40
5.1	Kesimpulan.....	40

5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA.....	42
LAMPIRAN.....	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagian arteri koroner.....	6
Gambar 2.2 Model penyempitan pembuluh darah berbentuk elips	7
Gambar 2.3 Angiografi dari aterosklerosis pada arteri koroner.....	8
Gambar 2.4 Rekonstruksi model penyempitan dari hasil angiografi.....	8
Gambar 2.5 Jenis aliran fluida: (a) laminar, (b) turbulen, dan (c) transisi	8
Gambar 2.6 Bagan volume kendali persamaan massa	10
Gambar 2.7 Bagan volume kendali persamaan momentum.....	10
Gambar 3.1 Diagram alir prosedur penelitian.....	16
Gambar 4.1 Bagan volume kendali persamaan massa	18
Gambar 4.2 Bagan volume kendali persamaan momentum.....	20
Gambar 4.3 Grid volume kontrol tekanan.....	22
Gambar 4.4 Grid volume kontrol kecepatan	23
Gambar 4.5 Grafik kecepatan aliran darah berdasarkan kecepatan awal pada penyempitan (a)30%; (b)50%; (c)70%	31
Gambar 4.6 Grafik tekanan aliran darah berdasarkan kecepatan awal pada penyempitan (a)30%; (b)50%; (c)70%	32
Gambar 4.7 Grafik kecepatan aliran darah berdasarkan besar penyempitan pada kecepatan awal sebesar (a)0,27 m/s; (b)0,32 m/s; (c)0,37 m/s.....	32
Gambar 4.8 Grafik tekanan aliran darah berdasarkan besar penyempitan pada kecepatan awal sebesar (a)0,27 m/s; (b)0,32 m/s; (c)0,37 m/s.....	33
Gambar 4.9 Grafik perbandingan kecepatan aliran darah antara MATLAB dan Ansys fluent berdasarkan kecepatan awal pada penyempitan (a)30%; (b)50%; (c)70%.....	34
Gambar 4.10 Grafik perbandingan kecepatan aliran darah antara MATLAB dan Ansys fluent berdasarkan besar penyempitan pada kecepatan awal sebesar (a)0,27 m/s; (b)0,32 m/s; (c)0,37 m/s.....	34
Gambar 4.11 Simulasi kecepatan aliran darah pada penyempitan 30% dengan kecepatan awal (a)0,27 m/s; (b)0,32 m/s; (c)0,37 m/s	35

Gambar 4.12 Simulasi kecepatan aliran darah pada penyempitan 50% dengan kecepatan awal (a)0,27 m/s; (b)0,32 m/s; (c)0,37 m/s	35
Gambar 4.13 Simulasi kecepatan aliran darah pada penyempitan 70% dengan kecepatan awal (a)0,27 m/s; (b)0,32 m/s; (c)0,37 m/s	35
Gambar 4.14 Simulasi tekanan aliran darah pada penyempitan 30% dengan kecepatan awal (a)0,27 m/s; (b)0,32 m/s; (c)0,37 m/s	36
Gambar 4.15 Simulasi tekanan aliran darah pada penyempitan 50% dengan kecepatan awal (a)0,27 m/s; (b)0,32 m/s; (c)0,37 m/s	37
Gambar 4.16 Simulasi tekanan aliran darah pada penyempitan 70% dengan kecepatan awal (a)0,27 m/s; (b)0,32 m/s; (c)0,37 m/s	37
Gambar 4.17 Grafik scaled residual.....	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batasan pada Aliran Darah	7
Tabel 2.2 Penelitian yang Relevan	13
Tabel 4.1 Parameter Variabel	23
Tabel 4.2 Tebakan Awal Kecepatan-u	23
Tabel 4.3 Tebakan Awal Tekanan	24
Tabel 4.4 Koreksi Komponen Kecepatan.....	27
Tabel 4.5 Koreksi Komponen Tekanan	28
Tabel 4.6 Nilai Kecepatan	28
Tabel 4.7 Nilai Tekanan	28
Tabel 4.8 Kecepatan dan Tekanan Aliran Darah dari MATLAB	33
Tabel 4.9 Kecepatan Aliran Darah dari Ansys Fluent	36
Tabel 4.10 Kecepatan Maksimum berdasarkan Kecepatan Awal yang Sama	38
Tabel 4.11 Kecepatan Maksimum berdasarkan Besar Penyempitan yang Sama ..	38
Tabel 4.12 Tabel Residual Konvergensi	39

DAFTAR NOTASI

ρ	: massa jenis darah (kg/m^3)
μ	: viskositas dinamis fluida (kg/ms)
K	: konduktivitas termal (W/mk)
p	: tekanan darah (kg/ms^2)
u	: kecepatan (m/s)
t	: waktu (s)
r	: jari-jari arteri (m)
$a_{i,j}$: diskritisasi pada sumbu x, y
p^*	: tebakan awal tekanan
p'	: selisih tebakan tekanan yang benar dengan tekanan yang ditebak
u^*, v^*	: tebakan awal kecepatan aliran
u', v'	: selisih tebakan kecepatan aliran yang benar dengan kecepatan aliran yang ditebak
A	: luas permukaan (m^2)
F	: gaya
τ	: gaya tegang zat
u_{avg}	: rata-rata kecepatan (m/s)
R	: koefisien resistensi pembuluh darah dasar ($mmHg \cdot s/mL$)
\hat{R}	: koefisien resistensi pembuluh darah yang dimodifikasi ($mmHg \cdot s/mL$)
δ	: tinggi stenosis (m)
z	: posisi dalam pembuluh darah (m)
h	: posisi penyempitan pembuluh darah (m)
L	: panjang pembuluh darah (m)
ω	: faktor relaksasi

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

Singkatan/Istilah	Arti dan Keterangan
CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i>
Kemenkes	Kementrian Kesehatan
MATLAB	<i>Matrix Laboratory</i>
<i>Mesh</i>	Proses membagi komponen yang dianalisis menjadi elemen-elemen kecil atau diskrit
SIMPLE	<i>Semi Implicit Method for Pressure Linked Equation</i>
Stenosis	Penyempitan pembuluh darah yang dapat mengakibatkan penumpukan lemak dan menghambat aliran darah
Trigliserida	Lemak dalam darah
Trombosis	Terbentuknya gumpalan darah pada pembuluh darah

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Global Burden of Disease dan *Institute for Health Metrics and Evaluation* (IHME) 2014-2019 mengungkapkan bahwa penyakit jantung menjadi penyebab kematian tertinggi di Indonesia (Kemenkes RI, 2022). Menurut catatan *World Health Organization* (WHO) menunjukkan bahwa pada tahun 2021, angka kematian akibat penyakit jantung mencapai angka 17,8 juta kematian. Aterosklerosis merupakan salah satu penyakit yang menjadi penyebab penyakit jantung. Menurut penelitian Maharani et al., (2019), populasi yang memiliki risiko penyakit aterosklerosis sebesar 29,2% dari total 22.093 sampel di seluruh Indonesia. Kematian di Indonesia akibat penyakit aterosklerosis diperkirakan menyebabkan lebih dari 470.000 setiap tahunnya (Hussain et al., 2016).

Aterosklerosis merupakan penyakit yang ditandai dengan penebalan dan hilangnya sifat elastisitas pada dinding pembuluh darah arteri. Penyebab utama aterosklerosis adalah hipertensi, kolesterol, trigliserida tinggi, dan gaya hidup yang tidak sehat. Aterosklerosis disebabkan adanya penumpukan plak kekuningan yang mengalami penyempitan secara tidak normal. Penyempitan pada pembuluh darah mengakibatkan penumpukan yang dikenal dengan stenosis. Menyempitnya arteri menyebabkan aliran darah dan suplemen penting menurun. Arteri yang kekurangan darah dan oksigen mengakibatkan risiko penyakit stroke, gagal jantung, dan serangan jantung dapat meningkat (Hussain et al., 2023).

Penyempitan pembuluh darah dapat mempengaruhi tekanan darah pada pembuluh darah. Kondisi menyempitnya pembuluh darah dapat mengakibatkan kelainan fatal jika tidak ditangani secara cepat. Kelainan fatal akibat menyempitnya pembuluh darah dapat mengakibatkan nyeri dada, sesak napas, serangan jantung hingga menyebabkan kematian. Penyempitan arteri koroner dapat diselidiki dengan melihat hubungan antara tekanan darah dengan tingkat penyempitan yang terjadi. Persamaan matematika dibuat untuk menggambarkan visualisasi terkait penyempitan pembuluh darah akibat aterosklerosis, yang kemudian dianalisis dengan bantuan CFD. Penyelesaian model matematika tersebut menggunakan

metode numerik. Metode numerik adalah teknik pemecahan masalah matematika secara pendekatan dalam bentuk operasi perhitungan yang diselesaikan menggunakan bahasa pemrograman dengan bantuan *software* (Sudiarta, 2020). CFD dapat membantu menganalisis model matematika dari permasalahan tersebut. Metode CFD merupakan metode yang digunakan dalam menganalisis dan melakukan pendekatan terhadap fenomena fluida secara numerik (Santoso et al., 2021). Menurut penelitian sejenis milik Hussain, et al. (2023) yang berjudul *Numerical Simulation of Unsteady Generic Newtonian Blood Flow and Heat Transfer Through Discrepant Shaped Dilatable Arterial Stenosis* dimodelkan aliran darah dalam tiga jenis stenosis untuk menentukan kecepatan, tekanan, dan perubahan suhu di arteri yang dianalisis dengan CFD. Berdasarkan permasalahan tersebut, akan dilakukan penelitian dengan menyelesaikan model matematika penyempitan pembuluh darah berdasarkan bentuk penyempitan akibat penyakit aterosklerosis menggunakan metode volume hingga. Bentuk penyempitan yang akan diteliti yaitu penyempitan berbentuk elips.

Metode volume hingga merupakan pendekatan numerik yang digunakan dalam menyelesaikan berbagai permasalahan, termasuk pada kasus aliran fluida. Model matematika dibuat titik diskrit kontinu yang dibentuk menjadi *grid* atau *mesh*. Memanfaatkan metode volume hingga, persamaan didiskritisasi secara numerik menggunakan bantuan *software* (Fatahillah et al., 2022). Pada penelitian ini, diskritisasi penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis dilakukan menggunakan diskritisasi SIMPLE. Algoritma SIMPLE merupakan prosedur numerik yang banyak digunakan dalam fluida komputasi dinamika untuk menyelesaikan persamaan yang mengatur mekanika fluida (Khawaja & Moatamedi, 2018). Penyelesaian numerik pada penelitian ini akan menggunakan *software* MATLAB dan *Ansys Fluent*.

MATLAB merupakan perangkat lunak berbasis matriks untuk pemrograman, analisis, dan perhitungan teknis dan matematis (Nasaruddin & Yunida, 2022). Sedangkan *Ansys Fluent* merupakan program *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menggunakan metode volume hingga yang ditulis dalam Bahasa C (Matson, 2022). *Fluent* memiliki kelebihan diantaranya adalah mudah digunakan,

model yang realistis, diskritisasi yang efisien, dan visualisasi yang mudah dimengerti (Ansys, 2023). Pada penelitian ini *software* MATLAB akan digunakan untuk menganalisis model matematika dan *software Ansys Fluent* digunakan untuk mensimulasikan. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini akan menyelidiki, menetapkan, dan mengukur hubungan antara penyempitan pembuluh darah dan aterosklerosis dengan judul penelitian “Analisis Numerik Penyempitan Pembuluh Darah Akibat Penyakit Aterosklerosis Menggunakan Metode Volume Hingga”.

1.2 Rumusan Masalah

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

- 1) bagaimana model matematika penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis?
- 2) bagaimana pengaruh penyempitan pembuluh darah berbentuk elips terhadap kecepatan aliran darah akibat penyakit aterosklerosis?
- 3) bagaimana pengaruh kecepatan awal terhadap kecepatan aliran darah pada pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis?
- 4) bagaimana efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis masalah kecepatan aliran darah pada pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis?

1.3 Batasan Penelitian

Batasan penelitian diperlukan untuk mencegah meluasnya permasalahan dalam penelitian. Adapun batasan dalam penelitian ini yaitu:

- 1) penelitian berfokus pada penyempitan pembuluh darah akibat aterosklerosis;
- 2) proses yang dianalisis adalah kecepatan aliran darah akibat penyakit aterosklerosis berdasarkan bentuk penyempitan dan kecepatan awal;
- 3) penyempitan pembuluh darah yang diteliti adalah stenosis berbentuk elips;
- 4) metode penyelesaian yang digunakan metode volume hingga dengan teknik diskritisasi SIMPLE;
- 5) analisis numerik menggunakan bantuan *software* MATLAB;
- 6) proses simulasi menggunakan bantuan *software Ansys Fluent*.

1.4 Tujuan Penelitian

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

- 1) mengembangkan model matematika penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis;
- 2) mengetahui pengaruh penyempitan pembuluh darah berbentuk elips terhadap kecepatan aliran darah akibat penyakit aterosklerosis;
- 3) mengetahui pengaruh kecepatan awal terhadap kecepatan aliran darah pada pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis;
- 4) mendeskripsikan efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis kecepatan aliran darah pada pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini sebagai berikut:

- 1) menambah pengetahuan peneliti dalam bidang pemodelan matematika dengan memberikan kontribusi terhadap perkembangan simulasi penyakit arteri menggunakan metode volume hingga;
- 2) memberikan informasi mengenai model matematika pada penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis;
- 3) membantu meningkatkan kesadaran tentang penyakit aterosklerosis sebagai upaya pencegahan bagi masyarakat;
- 4) sebagai sumber acuan bagi peneliti lain yang ingin melakukan penelitian lebih lanjut atau sejenis.

1.6 Kebaruan Penelitian

Adapun kebaruan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) model matematika pada penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis diselesaikan menggunakan metode volume hingga dengan algoritma diskritisasi SIMPLE;
- 2) model matematika diselesaikan secara numerik menggunakan MATLAB dan disimulasikan secara 3D menggunakan *Ansys Fluent*.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemodelan Matematika

Pemodelan matematika merupakan proses memformulasi dan mengembangkan suatu model matematika untuk merepresentasikan dan memecahkan masalah (Junaedi et al., 2022). Sistem yang kompleks dapat disimulasikan dengan bantuan perangkat lunak dalam komputer. Model matematika terdiri atas variabel, parameter, dan bentuk fungsi yang menyebutkan relasi antara variabel dan parameter (Kusuma et al., 2023).

Tahapan penyusunan pemodelan matematika menurut Ndi (2022) dirumuskan sebagai berikut:

1. mengidentifikasi masalah untuk menetapkan tujuan dan menjawab pertanyaan dalam membangun model matematika;
2. membuat asumsi yang disesuaikan dengan tujuan model matematika dengan melibatkan pengaruh hubungan antar variabel;
3. memformulasikan model matematika sesuai dengan beberapa asumsi;
4. mencari solusi dari model matematika secara analitik dan numerik;
5. menginterpretasikan hasil secara realistis dari sudut pandang dimana matematika tersebut diterapkan;
6. validasi model untuk memeriksa kesesuaian hasil model matematika dengan asumsi yang dibuat sebelumnya.

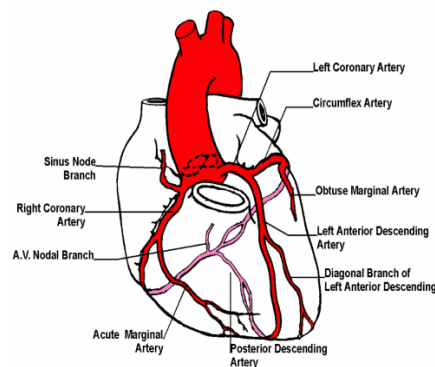
2.2 Analisis Numerik

Analisis numerik merupakan studi tentang algoritma untuk menyelesaikan masalah matematika menggunakan pendekatan numerik. Istilah lain yang mengacu pada metode penyelesaian masalah numerik disebut dengan metode numerik. Metode numerik merupakan metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah matematika dalam bentuk formula tertentu dengan operasi hitungan secara sistematis. Tahapan dalam penyelesaian menggunakan metode numerik secara sistematis dikenal sebagai algoritma (Sofana dan Lutfi, 2021).

Metode numerik dapat diimplementasikan dalam bentuk bahasa pemrograman. Metode numerik akan menghasilkan nilai galat yang digunakan untuk melihat keakuratan hasil. Penyelesaian menggunakan metode numerik pada umumnya bersifat hampiran. Penulisan kode program yang sesuai dengan langkah penyelesaian bisa didapatkan solusi hampiran yang mendekati solusi eksaknya.

2.3 Penyempitan Pembuluh Darah

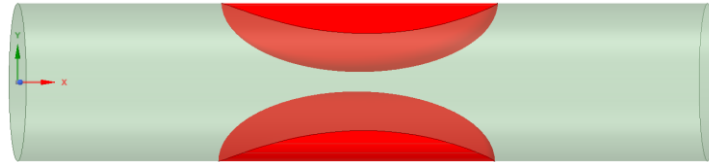
Pembuluh darah merupakan tempat mengalirnya darah dalam tubuh manusia yang berbentuk seperti tabung panjang. Pembuluh darah terdiri atas arteri, arteriol, kapiler, venula, dan vena (Romaidha et al., 2023). Salah satu pembuluh darah yang berada di jantung adalah arteri koroner. Arteri koroner merupakan pembuluh darah pertama yang bercabang dari aorta asedens yang memasok oksigen dan nutrisi dalam darah ke otot jantung. Kecepatan aliran darah koroner normal pada manusia yaitu $0,2 - 0,5 \text{ m/s}$. Pada penelitian ini penyempitan pembuluh darah terjadi di arteri koroner kiri, yaitu pada *Left Anterior Descending* (LAD) dengan diameter arteri sebesar $3,4 \text{ mm}$ (Nogourani et al., 2023).



Gambar 2.1 Bagian arteri koroner
(sumber: ergo-log.com)

Penyempitan arteri koroner merupakan kondisi menumpuknya lemak kolesterol dan trigliserida pada arteri yang dapat menyebabkan aliran darah ke otot jantung berkurang ataupun berhenti sehingga mengganggu kerja jantung (Shoufiah & Nuryanti, 2021). Tekanan darah yang tinggi membuat plak aterosklerosis retak dan menjadi beberapa serpihan. Serpihan-serpihan plak yang lepas dapat menyebabkan aliran darah tersumbat dan memicu terjadinya serangan jantung (Bachtiar et al., 2023).

Model yang digunakan dalam penelitian ini merupakan model yang dibentuk berdasarkan densitas, viskositas, dan konduktivitas termal melalui daerah penyempitan arteri. Bentuk penyempitan pembuluh darah pada penelitian ini adalah pembuluh darah berbentuk elips yang dapat dilihat pada Gambar 2.2. Dengan batasan pada aliran darah yang dapat dilihat pada Tabel 2.1:



Gambar 2.2 Model penyempitan pembuluh darah berbentuk elips

Dengan syarat batas penyempitan pembuluh darah berbentuk elips ditentukan sebagai berikut:

$$\hat{R}(x, t) = \begin{cases} \left[R - \delta \sin\left(\pi\left(\frac{z-h}{L}\right)\right) \Omega(t) \right] & h \leq z \leq h + L \\ [R] \Omega(t), \text{ sebaliknya} \end{cases} \quad (2.1)$$

Dengan $\Omega(t) = 1 - (\cos \omega t - 1)e^{-i\omega t}$

Persamaan aliran darah melalui daerah penyempitan arteri

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho(u \cdot \nabla)u = \nabla[-pI] + \nabla[K] + F \quad (2.2)$$

Dimana $K = \mu(\nabla u + (\nabla(u))^T)$

Tabel 2.1 Batasan pada Aliran Darah

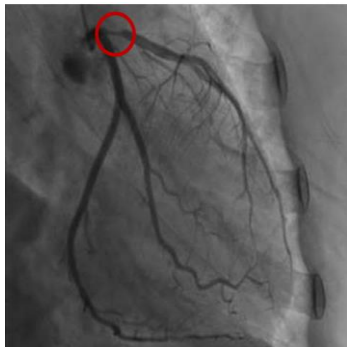
Nama	Simbol	Nilai
Konduktivitas Termal	k	0.492 W/mk
Kepadatan Darah	ρ	1063 kg/m ³
Kapasitas Panas Darah	C_p	3594 1/K · kg
Viskositas Dinamis	μ	0.003 N/m ² s
Rasio Panas Spesifik dalam Darah	γ	1

(sumber: Hussain et al., 2023)

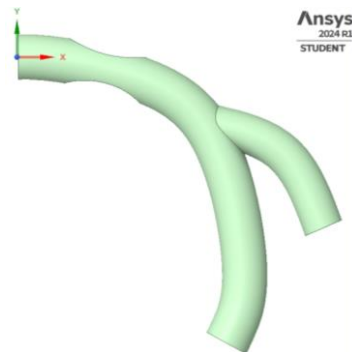
2.3.1 Aterosklerosis

Aterosklerosis merupakan hilangnya kelenturan jaringan ikat dan ketidakmampuan otot polos untuk berelaksasi pada pembuluh darah yang mengakibatkan arteri besar dan aorta tidak mampu membawa darah dalam jumlah besar ke jantung (Anita et al., 2023). Aterosklerosis merupakan penyempitan

pembuluh darah akibat penumpukan plak pada dinding pembuluh darah (Tampubolon et al., 2023). Plak akan mengeras oleh endapan kalsium pada arteri yang mengakibatkan lapisan arteri menjadi kasar dan menghambat lumen pembuluh darah. Kondisi ini memicu terjadinya trombosis yang menyebabkan arteri tersumbat dan memicu serangan jantung jika terjadi pada pembuluh darah jantung. Aterosklerosis yang terjadi di arteri koroner yang mengalami penyempitan dan pengerasan disebut penyakit jantung koroner (Katimenta et al., 2023).



Gambar 2.3 Angiografi dari aterosklerosis pada arteri koroner (sumber: Lim et al., 2023)



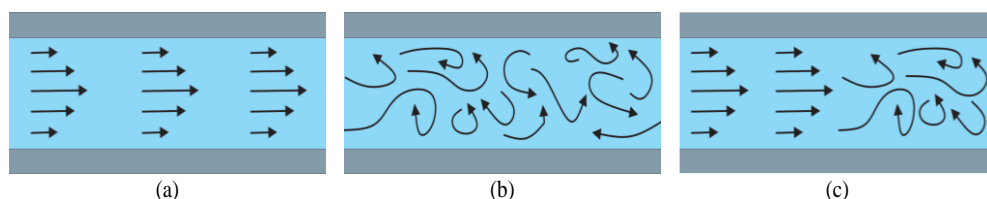
Gambar 2.4 Rekonstruksi model penyempitan dari hasil angiografi

Penyakit aterosklerosis ini fokus pada bentuk penyempitan pembuluh darah pada arteri koroner kiri. Model anatomi dari penyempitan arteri koroner yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat menggunakan angiografi pada Gambar 2.3. Gambar 2.4 menunjukkan model penyempitan dengan bentuk penyempitan elips yang direkonstruksi dari Gambar 2.3 dengan menggunakan *Ansys Fluent*.

2.4 Fluida

Fluida merupakan zat yang dapat mengalir dan terus berubah bentuk ketika dipengaruhi oleh tekanan atau gaya geser. Fluida mencakup zat cair atau cairan dan gas atau uap (Suryanto & Bakhri, 2023).

2.4.1 Jenis-Jenis Aliran Fluida



Gambar 2.5 Jenis aliran fluida: (a) laminar, (b) turbulen, dan (c) transisi

- a. Aliran Laminar, merupakan aliran fluida yang bergerak sepanjang garis sejajar dengan arah aliran.
- b. Aliran Turbulen merupakan aliran yang bergerak ke berbagai arah dengan kecepatan yang sama atau berbeda dalam sumbu x , y , dan z .
- c. Aliran Transisi merupakan aliran perubahan dari laminar menuju turbulen

2.5 Computational Fluid Dynamics (CFD)

CFD merupakan program komputer perangkat lunak yang digunakan dalam membantu memprediksi dan menganalisa secara kuantitatif aliran fluida, perpindahan panas, transportasi fenomena, dan reaksi kimia (Fatahillah et al., 2019). CFD menggunakan simulasi komputer untuk memodelkan fenomena seperti aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi. CFD disusun berdasarkan algoritma numerik yang mampu mengatasi masalah aliran fluida menggunakan simulasi komputer berdasarkan persamaan kontinuitas dan persamaan Navier-Stokes untuk menggambarkan aliran fluida di wilayah tertentu (Ramdani et al., 2023). Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa CFD merupakan program komputer yang digunakan untuk menganalisis aliran fluida dan fenomena lainnya.

2.6 Metode Volume Hingga

Metode volume hingga merupakan pendekatan numerik yang digunakan dalam menyelesaikan berbagai permasalahan, termasuk pada kasus aliran fluida. Persamaan didiskritisasi secara numerik menggunakan bantuan *software* dengan menerapkan metode volume hingga (Permatasari et al., 2020).

2.6.1 Persamaan Massa

Persamaan massa yang digunakan berdasarkan hukum kekekalan massa. Kekekalan massa sering disebut dengan hubungan kontinuitas, menyatakan bahwa massa fluida tidak dapat berubah (White & Xue, 2021). Dengan kata lain, keberadaan massa konstan terhadap waktu, tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan (Pradina et al., 2020). Bentuk umum persamaan massa adalah sebagai berikut:

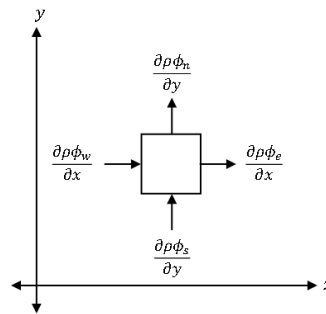
$$\frac{\partial}{\partial t}(\text{mass}) + \text{nett outward mass flux} = 0 \quad (2.3)$$

Dimana massa = ρ dan massa fluks yang keluar = ρu , maka persamaan (2.3) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \Sigma_{face} \rho u = 0 \quad (2.4)$$

Berdasarkan Teorema Pengangkutan Reynold, persamaan (4.3) menjadi:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho) + (\rho u)_{out} - (\rho u)_{in} = 0 \quad (2.5)$$



Gambar 2.6 Bagan volume kendali persamaan massa

2.6.2 Persamaan Momentum

Persamaan momentum dibentuk berdasarkan hukum kekekalan momentum yang diturunkan melalui persamaan diferensial gerak fluida menggunakan volume unsur (White & Xue, 2021). Bentuk umum persamaan momentum

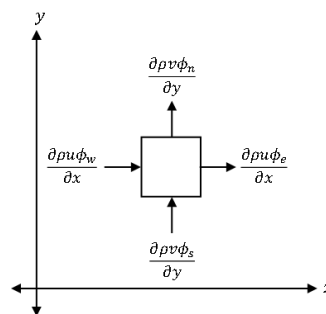
$$\frac{\partial}{\partial t}(\text{momentum}) + \text{nett outward momentum flux} = \text{Force} \quad (2.6)$$

Dimana momentum = ρu dan momentum fluks yang keluar = $\rho u A_u$, sehingga persamaan (2.6) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + \Sigma_{face} \rho u A_u = F \quad (2.7)$$

Persamaan (2.7) dapat direpresentasikan sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + (\rho u A_u)_{out} - (\rho u A_u)_{in} = F \quad (2.8)$$



Gambar 2.7 Bagan volume kendali persamaan momentum

2.7 Teknik Diskritisasi SIMPLE (*Semi Implicit Method for Pressure Linked Equation*)

Teknik diskritisasi SIMPLE merupakan algoritma yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan Navier-Stokes menggunakan hubungan antara kecepatan dan tekanan untuk mendapatkan nilai konservasi massa dan nilai bidang tekanan (Widiarta et al., 2022). Langkah-langkah perhitungan SIMPLE menurut Versteeg & Malalasekera (2007) dijelaskan sebagai berikut:

1. mengasumsikan tebakan awal p^* , u^* , v^* , dan ϕ^*
2. menyelesaikan diskritisasi persamaan momentum

$$a_{i,j} u^*_{i,j} = \sum a_{nb} u^*_{nb} + (p^*_{i-1,j} - p^*_{i,j}) A_{i,j} + b_{i,j} \quad (2.9)$$

$$a_{i,j} v^*_{i,j} = \sum a_{nb} v^*_{nb} + (p^*_{i,j-1} - p^*_{i,j}) A_{i,j} + b_{i,j} \quad (2.10)$$

3. menyelesaikan persamaan koreksi tekanan

$$a_{i,j} p'_{i,j} = a_{i+1,j} p'_{i+1,j} + a_{i-1,j} p'_{i-1,j} + a_{i,j+1} p'_{i,j+1} + a_{i,j-1} p'_{i,j-1} + b'_{i,j} \quad (2.11)$$

4. menentukan tekanan dan kecepatan sebenarnya

$$u_{i,j} = u^*_{i,j} + d_{i,j} (p'_{i-1,j} - p'_{i,j}) \quad (2.12)$$

$$v_{i,j} = v^*_{i,j} + d_{i,j} (p'_{i,j-1} - p'_{i,j}) \quad (2.13)$$

$$\text{Dimana } d_{i,j} = \frac{A_{i,j}}{a_{i,j}} \text{ dan } d_{i,j} = \frac{A_{i,j}}{a_{i,j}} \quad (2.14)$$

5. menyelesaikan persamaan diskritisasi yang lain

$$a_{i,j} \phi_{i,j} = a_{i+1,j} \phi_{i+1,j} + a_{i-1,j} \phi_{i-1,j} + a_{i,j+1} \phi_{i,j+1} + a_{i,j-1} \phi_{i,j-1} + b_{\phi_{i,j}} \quad (2.15)$$

6. memeriksa konvergen. Jika hasil belum mencapai konvergen maka asumsikan ulang langkah 1-4 hingga mencapai konvergen.

2.8 Algoritma dan Pemrograman

2.8.1 SOR (*Successive Over Relaxation*)

Metode SOR adalah algoritma yang digunakan untuk menyelesaikan sistem persamaan linear termasuk dalam pemodelan aliran fluida. Metode ini efektif dalam memecahkan persoalan yang melibatkan sistem persamaan yang kompleks dengan

solusi numerik yang efisien. Tujuan metode SOR adalah mempercepat konvergensi. Rumus iterasi SOR adalah

$$x_i^{k+1} = \frac{\{\omega b_i + (1 - \omega)a_{ii}x_i^{(k)} - \omega \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij}x_j^{(k+1)} - \omega \sum_{j=i+1}^n a_{ij}x_j^{(k)}\}}{a_{ii}} \quad (2.16)$$

Dengan $i = 1, 2, \dots$ dan $k = 0, 1, 2, \dots$

Konvergensi dari proses iterasi harus memenuhi $0 < \omega < 2$ dimana ω mewakili faktor relaksasi. Nilai faktor relaksasi sangat mempengaruhi konvergensi dan kecepatan konvergensi (Huang, *et al.*, 2021).

2.8.2 Residual Convergence

Residual merupakan nilai absolut yang diperoleh dari selisih antara sisi kanan dan kiri persamaan momentum pada setiap *node*. Residu dalam CFD digunakan untuk menentukan konvergensi hasil numerik dari model persamaan. Residu global merupakan jumlah keseluruhan nilai residu pada setiap *node* yang berfungsi sebagai indikator konvergensi dalam perhitungan aliran fluida. Nilai residual tidak pernah bernilai nol, tetapi semakin rendah nilai residu maka semakin solusi numerik semakin mendekati nilai sebenarnya. Bagian dari skala residual yaitu *continuity, x-velocity, y-velocity, z-velocity, energy, k, epsilon* (Gangurde et al., 2022). Semakin kecil nilai toleransi maka semakin baik tingkat kekonvergensinya.

2.9 Perangkat Lunak dalam CFD

2.9.1 MATLAB

MATLAB merupakan platform pemrograman dan komputasi numerik yang digunakan untuk menganalisis data, mengembangkan algoritma, dan membuat model (Werdiningsih et al., 2022). MATLAB dikhususkan untuk kebutuhan komputasi teknis, visualisasi dan pemrograman seperti komputasi matematik, analisis data, pengembangan algoritma, simulasi, serta pemodelan dan grafik-grafik perhitungan (Laananila et al., 2023). MATLAB yang digunakan pada penelitian ini adalah MATLAB R2013a.

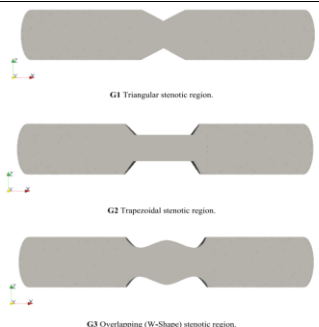
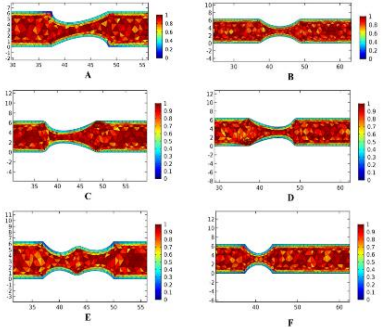
2.9.2 *Ansys Fluent*

Ansys adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh perusahaan Ansys Inc dengan kantor pusat di Canonsburg, Pennsylvania, Amerika Serikat. *Ansys Fluent* menyediakan berbagai paket yang digunakan untuk memodelkan dan mensimulasikan berbagai masalah termasuk fluida. Dalam penelitian ini akan dilakukan pemodelan aliran darah pada pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis menggunakan paket *fluent*.

Fluent adalah salah satu jenis program CFD yang ditulis dalam bahasa C, sehingga memiliki struktur data yang efisien dan lebih fleksibel (Fatahillah et al., 2022). *Fluent* dapat digunakan untuk mensimulasikan aliran dan perpindahan panas. Beberapa parameter aliran yang dapat ditunjukkan oleh *fluent* adalah kecepatan aliran, laju aliran massa, distribusi temperatur, distribusi tekanan, dan pola aliran fluida yang terjadi dalam sistem yang dianalisa. Pada penelitian ini menggunakan *Ansys Fluent 2024 R1*.

Penelitian murni yang memuat model matematika penyempitan pembuluh darah dan disimulasikan dengan CFD dapat dilihat pada Tabel 2.2:

Tabel 2.2 Penelitian yang Relevan

No	Model Matematika	Simulasi CFD	Sumber
1	$\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{x}} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{y}} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial \bar{z}} = 0$ $\rho \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{x}} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{y}} + \bar{w} \frac{\partial \bar{w}}{\partial \bar{z}} \right) =$ $-\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{x}} + \mu \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{x}^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{y}^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{z}^2} \right)$		(Nadeem et al., 2023)
2	$\int_{\Omega} \frac{\partial v}{\partial t} \cdot v dx + \int_{\Omega} (v \cdot \nabla v) \cdot v dx + \vartheta \int_{\Omega} \nabla v : \nabla v dx = 0$ $\int_{\Omega} (v(t) ^2) dx + 2\vartheta$ $\int_0^t \int_{\Omega} \nabla v ^2 dx d\tau = \int_{\Omega} v_0 ^2 dx$		(Narayan et al., 2023)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian pada analisis numerik penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis adalah penelitian simulasi. Penelitian simulasi merupakan penelitian yang dilakukan dengan tujuan menggambarkan fenomena melalui sistem sederhana dengan memanipulasi untuk mendapatkan hasil yang mendekati dengan kondisi sebenarnya. Simulasi bertujuan menganalisis data dan menghasilkan informasi yang diinterpretasikan untuk memastikan informasi yang dihasilkan relevan dengan permasalahan (Prasetyo, 2023). Peneliti akan memodelkan aliran darah pada penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis sehingga diperoleh data-data yang mendekati keadaan sebenarnya.

3.2 Definisi Operasional

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

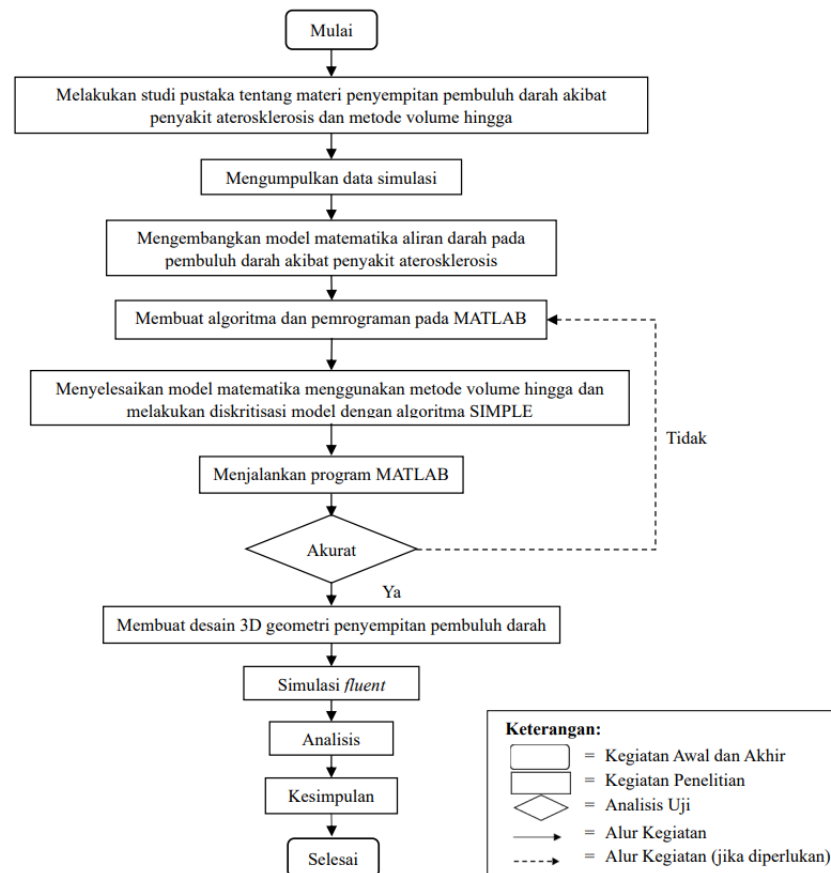
- 1) model matematika merupakan usaha penyederhanaan permasalahan yang kompleks kedalam bentuk persamaan maupun sistem persamaan matematika;
- 2) aterosklerosis merupakan penyempitan pembuluh darah yang disebabkan oleh plak;
- 3) metode volume hingga merupakan salah satu metode numerik yang digunakan dalam menyelesaikan persamaan diferensial berdasarkan hukum kekekalan. Metode volume hingga digunakan untuk objek yang berbentuk tidak teratur;
- 4) MATLAB merupakan bahasa pemrograman yang dapat digunakan dalam penyelesaian masalah komputasi numerik, pemodelan matematika, dan visualisasi data;
- 5) CFD merupakan ilmu yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisis masalah pada aliran fluida dengan simulasi berbasis komputer.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian merupakan tahapan yang dilakukan peneliti sebagai pedoman dalam melakukan penelitian mulai dari tahapan awal sampai pembuatan laporan hasil penelitian untuk mencapai tujuan penelitian. Adapun prosedur yang dilakukan pada peneliti ini yaitu:

- 1) melakukan studi pustaka yang berkaitan dengan penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis, variabel-variabel yang mempengaruhi penyempitan, dan metode volume hingga;
- 2) mengumpulkan data berdasarkan variabel-variabel yang ditentukan, data yang digunakan merupakan data simulasi;
- 3) mengembangkan model matematika dari persamaan kontinuitas massa dan persamaan momentum aliran darah pada pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis;
- 4) menyelesaikan model matematika menggunakan metode volume hingga dengan algoritma SIMPLE dalam mendiskritisasi model;
- 5) membuat algoritma dan pemrograman pada MATLAB;
- 6) menjalankan program dan menganalisis algoritma dari model matematika penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis;
- 7) membuat desain geometri dan menentukan batas kecepatan aliran darah pada penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis;
- 8) membuat simulasi model penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis menggunakan *software Ansys Fluent*;
- 9) menganalisis hasil dari simulasi model dengan *software Ansys Fluent*;
- 10) memberikan kesimpulan dan hasil.

Untuk lebih memahami tahapan pada penelitian ini, dapat dilihat dalam diagram alir (*flowcart*) pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir prosedur penelitian

3.4 Tempat Penelitian

Tempat penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pendidikan Matematika Gedung III FKIP Universitas Jember untuk menyelesaikan perhitungan numerik dan CFD. Tempat ini dipilih karena adanya sarana dan prasarana yang mendukung untuk menganalisis serta mensimulasikan pemodelan. Sarana dan prasarana yang tersedia yaitu *software* MATLAB numerik dan *Ansys Flent* serta berbagai sumber-sumber elektronik lainnya.

3.5 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode studi literatur. Studi literatur atau studi pustaka adalah cara untuk menyelesaikan persoalan dengan menelusuri sumber-sumber tulisan yang pernah

dibuat sebelumnya (Restu et al., 2021). Sumber-sumber yang dapat digunakan sebagai bahan studi pustaka pada penelitian ini adalah buku, jurnal ilmiah, ataupun data-data di internet yang relevan dengan penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis.

3.6 Data dan Analisis Data

Data merupakan gambaran dari sebuah permasalahan. Analisis data merupakan proses mengelola data menjadi informasi baru agar data tersebut mudah dimengerti dan digunakan sebagai kesimpulan. Data dikelompokkan dan dibedakan menjadi beberapa kelompok secara sistematis. Kemudian data dianalisis berdasarkan rancangan penelitian. Kesimpulan dapat ditarik dari hasil analisis data.

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah mengembangkan model matematika penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis. Langkah selanjutnya, menyelesaikan model matematika tersebut menggunakan metode volume hingga dengan diskritisasi SIMPLE hingga mendapatkan nilai numerik. Penyelesaian secara numerik pada algoritma SIMPLE dibantu menggunakan *software* MATLAB sehingga diperoleh penyelesaian yang konvergen.

Hasil perhitungan dikatakan konvergen apabila terdapat *error* yang kecil antara perhitungan MATLAB dengan nilai eksak. Akan tetapi, jika hasil perhitungan MATLAB dengan sebenarnya terjadi perbedaan yang signifikan, maka akan dicari kesalahan saat memodelkan dan pengecekan ulang pada proses penurunan rumus serta penyelesaian MATLAB hingga memperoleh hasil yang benar. Setelah mendapatkan hasil dari perhitungan secara numerik, langkah selanjutnya yaitu mensimulasikan model matematika penyempitan pembuluh darah akibat aterosklerosis menggunakan *software Ansys Fluent 2024 R1* secara tiga dimensi.

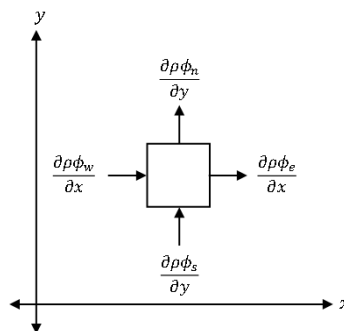
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis model matematika kecepatan aliran darah akibat penyakit aterosklerosis yang menyebabkan penyempitan pembuluh darah dilakukan dengan beberapa tahapan. Langkah pertama yaitu pembentukan model matematika aliran darah pada pembuluh darah didasarkan pada persamaan massa dan persamaan momentum. Selanjutnya, model matematika diselesaikan menggunakan metode volume hingga dengan diskritisasi SIMPLE. Kemudian diselesaikan secara numerik menggunakan *software* MATLAB dan proses simulasi menggunakan *software* Ansys Fluent.

4.1 Model Matematika Kecepatan Aliran Darah pada Pembuluh Darah akibat Penyakit Aterosklerosis

Subbab ini membahas model matematika kecepatan aliran darah pada pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis. Model matematika yang dibentuk berasal dari hasil penurunan massa dan persamaan momentum.

1. Persamaan Massa Kecepatan Aliran Darah pada Penyempitan Pembuluh Darah akibat Penyakit Aterosklerosis



Gambar 4.1 Bagan volume kendali persamaan massa

Bentuk umum persamaan kontinuitas massa adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\text{mass}) + \text{nett outward mass flux} = 0 \quad (4.1)$$

Persamaan ini menyatakan bahwa perubahan massa dalam suatu volume kontrol harus seimbang dengan fluks massa yang masuk atau keluar dari volume kontrol tersebut. Dengan kata lain massa dalam volume kendali adalah konstan.

Dimana massa = ρ dan massa fluks yang keluar = ρu , maka persamaan (4.1) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \Sigma_{face}\rho u = 0 \quad (4.2)$$

Berdasarkan Teorema Pengangkutan Reynold, persamaan (4.2) dapat direpresentasikan sebagai berikut:

$$\Sigma_{face}\rho u = (\rho u)_{out} - (\rho u)_{in} \quad (4.3)$$

Dengan $(\rho u A)_{out}$ adalah fluks massa yang keluar dari volume kontrol dan $(\rho u A)_{in}$ adalah fluks massa yang masuk dari volume kontrol. Gambar 4.1 menunjukkan fluks massa.

a. Fluks massa yang masuk (*input*)

$$\frac{\partial \rho \phi_w}{\partial x} \text{ dan } \frac{\partial \rho \phi_s}{\partial y} \quad (4.4)$$

b. Fluks massa yang keluar (*output*)

$$\frac{\partial \rho \phi_e}{\partial x} \text{ dan } \frac{\partial \rho \phi_n}{\partial y} \quad (4.5)$$

Kemudian persamaan (4.4) dan (4.5) disubstitusikan kedalam persamaan (4.2) sehingga dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \left(\frac{\partial \rho \phi_e}{\partial x} - \frac{\partial \rho \phi_w}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial \rho \phi_n}{\partial y} - \frac{\partial \rho \phi_s}{\partial y} \right) = 0 \quad (4.6)$$

Karena ρ konstan, maka turunan parsial waktu dari densitas menjadi nol atau $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$, sehingga persamaan (4.6) menjadi:

$$\left(\frac{\partial \phi_e}{\partial x} - \frac{\partial \phi_w}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial \phi_n}{\partial y} - \frac{\partial \phi_s}{\partial y} \right) = 0 \quad (4.7)$$

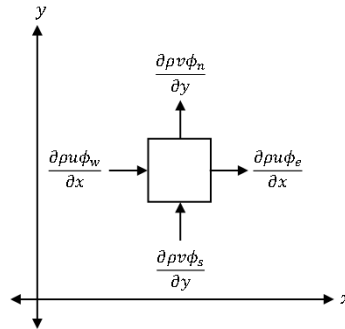
Objek dalam penelitian ini yaitu darah, dimana aliran darah searah dengan sumbu- x , sehingga persamaan (4.7) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\left(\frac{\partial \phi_e}{\partial x} - \frac{\partial \phi_w}{\partial x} \right) = 0 \quad (4.8)$$

Persamaan (4.8) menyatakan divergensi dari suatu vektor kecepatan u sama dengan nol, atau persamaan kontinuitas massa dapat ditulis menjadi:

$$\begin{aligned} \nabla \cdot u &= 0 \\ \frac{\partial u}{\partial x} &= 0 \end{aligned} \quad (4.9)$$

2. Persamaan Momentum Kecepatan Aliran Darah pada Penyempitan Pembuluh Darah akibat Penyakit Aterosklerosis



Gambar 4.2 Bagan volume kendali persamaan momentum

Bentuk umum persamaan momentum dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\text{momentum}) + \text{nett outward momentum flux} = \text{Force} \quad (4.10)$$

Dimana momentum = ρu dan momentum fluks yang keluar = $\rho u A_u$, sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + \Sigma_{face} \rho u A_u = F \quad (4.11)$$

Dengan

$$\Sigma_{face} \rho u A_u = (\rho u A_u)_{out} - (\rho u A_u)_{in} \quad (4.12)$$

Dimana $(\rho u A_u)_{out}$ adalah fluks momentum yang keluar dari volume kontrol dan $(\rho u A_u)_{in}$ adalah fluks momentum yang masuk dari volume kontrol. Gambar 4.2 menunjukkan fluks momentum.

a. Fluks momentum yang masuk (*input*)

$$\frac{\partial \rho u \phi_w}{\partial x} \text{ dan } \frac{\partial \rho v \phi_s}{\partial y} \quad (4.13)$$

b. Fluks momentum yang keluar (*output*)

$$\frac{\partial \rho u \phi_e}{\partial x} \text{ dan } \frac{\partial \rho v \phi_n}{\partial y} \quad (4.14)$$

Kemudian persamaan (4.13) dan (4.14) disubstitusikan kedalam persamaan (4.11) sehingga dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + \left(\frac{\partial}{\partial x} \rho u \phi_e - \frac{\partial}{\partial x} \rho u \phi_w \right) + \left(\frac{\partial}{\partial y} \rho v \phi_n - \frac{\partial}{\partial y} \rho v \phi_s \right) = F \quad (4.15)$$

Oleh karena $A_e = A_w = \Delta y$, dan $A_n = A_s = \Delta x$ maka persamaan (4.15) menjadi:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \rho u (\Delta x \Delta y) + \left[\frac{\partial}{\partial x} \rho u \phi_e (\Delta y) - \frac{\partial}{\partial x} \rho u \phi_w (\Delta y) \right] \\ + \left[\frac{\partial}{\partial y} \rho v \phi_n (\Delta x) - \frac{\partial}{\partial y} \rho v \phi_s (\Delta x) \right] = F \end{aligned} \quad (4.16)$$

Gaya-gaya (F) yang terjadi adalah gaya tekanan (P), kekentalan (μ), dan gaya tegang zat (τ). Sehingga, persamaan gaya yang bekerja adalah:

$$\begin{aligned} F &= -\nabla P + \nabla \tau_{ij} \\ F &= -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (\tau_{xx}) \end{aligned} \quad (4.17)$$

Dimana $\tau_{xx} = \mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right]$, sehingga persamaan (4.17) dapat ditulis sebagai berikut:

$$F = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] \right) \quad (4.18)$$

Selanjutnya substitusi persamaan (4.18) ke persamaan (4.16) sehingga diperoleh persamaan momentum sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \rho u (\Delta x \Delta y) + \left[\frac{\partial}{\partial x} \rho u \phi_e (\Delta y) - \frac{\partial}{\partial x} \rho u \phi_w (\Delta y) \right] \\ + \left[\frac{\partial}{\partial y} \rho v \phi_n (\Delta x) - \frac{\partial}{\partial y} \rho v \phi_s (\Delta x) \right] = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] \right) \end{aligned} \quad (4.19)$$

Karena ada kondisi penyempitan pembuluh darah pada arteri koroner kiri, maka persamaan (4.19) dapat disederhanakan menjadi:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho u}{\partial t} + \nabla \rho u u &= -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] \right) \\ \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + \nabla u u \right) &= -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] \right) \\ \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u u}{\partial x} \right) &= -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] \right) \\ \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u u}{\partial x} &= \frac{1}{\rho} \left(-\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] \right) \right) \end{aligned} \quad (4.20)$$

Menurut penelitian milik Roy et al., (2017) dalam kondisi yang stabil, nilai kecepatan yaitu:

$$u = 2u_{avg} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad (4.21)$$

Sehingga persamaan (4.21) menjadi:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial 2u_{avg} \left(1 - \frac{r^2}{\hat{R}}\right) u}{\partial x} = \frac{1}{\rho} \left(-\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] \right) \right) \quad (4.22)$$

Berdasarkan artikel milik Hussain, et al. (2023) nilai \hat{R} yaitu:

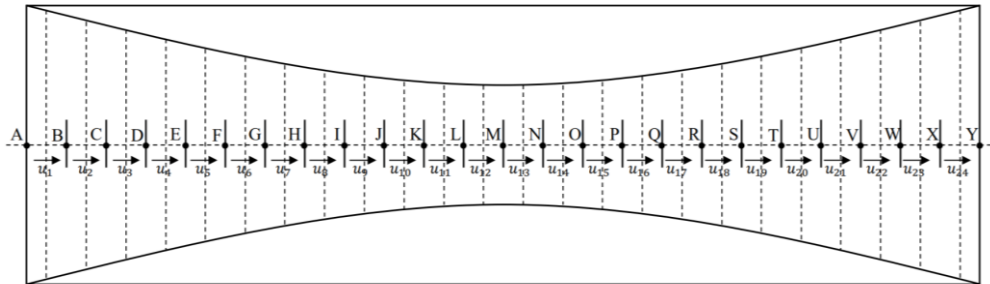
$$\hat{R} = \left[R - \delta \sin \left(\pi \left(z - \frac{h}{L} \right) \right) \right] \Omega(t) \quad (4.23)$$

Sehingga persamaan momentum dapat dituliskan sebagai berikut:

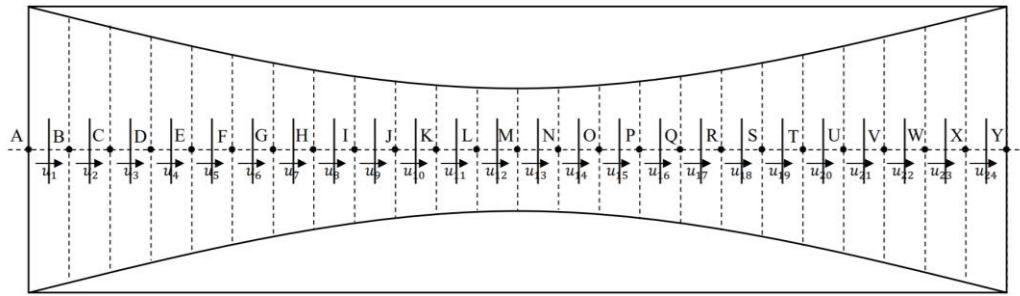
$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial 2u_{avg} \left(1 - \frac{r^2}{\left[R - \delta \sin \left(\pi \left(z - \frac{h}{L} \right) \right] \Omega(t)} \right) u}{\partial x} = \frac{1}{\rho} \left(-\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] \right) \right) \quad (4.24)$$

4.2 Penyelesaian Model Matematika Kecepatan Aliran Darah pada Penyempitan Pembuluh Darah akibat Penyakit Aterosklerosis menggunakan Diskritisasi SIMPLE

Model matematika kecepatan aliran darah pada penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis dibentuk dari persamaan massa dan persamaan momentum yang diselesaikan menggunakan metode diskritisasi SIMPLE. Planar dua dimensi pada area penyempitan ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4. *Grid* volume kontrol tekanan ditunjukkan pada Gambar 4.3 dengan 25 *node* yang disimbolkan dengan simpul $I = A, B, C, \dots$ dan Y . Gambar 4.4 menunjukkan *grid* volume kontrol kecepatan dengan 24 *node* yang disimbolkan dengan simpul $i = 1, 2, 3, \dots$, dan 24.



Gambar 4.3 *Grid* volume kontrol tekanan



Gambar 4.4 Grid volume kontrol kecepatan

Tabel 4.1 Parameter Variabel

Simbol	Nilai	Keterangan
ρ	1063 kg/m^3	Massa Jenis Darah
P_0	12000 Pa	Tekanan Awal
R	$1.5 \text{ mmHg} \cdot \text{s/mL}$	Koefisien Resistensi Pembuluh Darah
z	0.04 m	Posisi dalam Pembuluh Darah
h	0.03 m	Posisi Penyempitan Pembuluh Darah
r	0.0017 m	Jari-jari Pembuluh Darah

(sumber: Hussain et al., 2023)

Langkah pertama yaitu mengasumsikan tebakan awal u^* dan P^* . Komponen kecepatan- u yang sejajar dengan sumbu- x dan komponen tekanan P diasumsikan dengan:

$$\begin{aligned} (u_n^*) &= 1 \\ (P_n^*) &= 0 \end{aligned} \quad (4.25)$$

Tebakan awal u^* diperoleh dari asumsi yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Tebakan Awal Kecepatan- u

$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai
u_1^*	0.37	u_9^*	0.402043	u_{17}^*	0.337957
u_2^*	0.379576	u_{10}^*	0.396163	u_{18}^*	0.334261
u_3^*	0.3885	u_{11}^*	0.3885	u_{19}^*	0.333
u_4^*	0.396163	u_{12}^*	0.379576	u_{20}^*	0.334261
u_5^*	0.402043	u_{13}^*	0.37	u_{21}^*	0.337957
u_6^*	0.405739	u_{14}^*	0.360424	u_{22}^*	0.343837
u_7^*	0.407	u_{15}^*	0.3515	u_{23}^*	0.3515
u_8^*	0.405739	u_{16}^*	0.343837	u_{24}^*	0.360424

Tebakan awal P^* diperoleh dari asumsi yang ditunjukkan pada Tabel 4.3 sebagai berikut:

Tabel 4.3 Tebakan Awal Tekanan

$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai
P^*_A	12000	P^*_J	11575.74	P^*_S	12600
P^*_B	11844.71	P^*_K	11700	P^*_T	12579.56
P^*_C	11700	P^*_L	11844.71	P^*_U	12519.62
P^*_D	11575.74	P^*_M	12000	P^*_V	12424.26
P^*_E	11480.38	P^*_N	12155.29	P^*_W	12300
P^*_F	11420.44	P^*_O	12300	P^*_X	12155.29
P^*_G	11400	P^*_P	12424.26	P^*_Y	12000
P^*_H	11420.44	P^*_Q	12519.62		
P^*_I	11480.38	P^*_R	12579.56		

Langkah kedua yaitu mencari nilai (u_{n+1}^*) dengan mengabaikan nilai (P_n^*) . Nilai (u_{n+1}^*) diperoleh menggunakan persamaan momentum- x (4.24). Dengan mengabaikan nilai (P^*) , persamaan (4.24) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial 2u_{avg} \left(1 - \frac{r^2}{\left[R - \delta \sin \left(\pi \left(z - \frac{h}{L} \right) \right) \right] \Omega(t)} \right) u}{\partial x} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] \right) \quad (4.26)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = - \frac{\partial 2u_{avg} \left(1 - \frac{r^2}{\left[R - \delta \sin \left(\pi \left(z - \frac{h}{L} \right) \right) \right] \Omega(t)} \right) u}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] \right) \quad (4.26)$$

Selanjutnya mensubstitusikan turunan beda hingga pusat ke persamaan (4.26) sehingga diperoleh sistem persamaan linier sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{(u_{n+1})_i - (u_n)_i}{\Delta t} = & - \frac{1}{2\Delta x} \left[\left(2u_{avg} \left(1 - \frac{r^2}{\left[R - \delta \sin \left(\pi \left(z - \frac{h}{L} \right) \right) \right] \Omega(t)} \right) \right) (u_n)_{i+1} \right. \\ & \left. - \left(2u_{avg} \left(1 - \frac{r^2}{\left[R - \delta \sin \left(\pi \left(z - \frac{h}{L} \right) \right) \right] \Omega(t)} \right) \right) (u_n)_{i-1} \right] \\ & + \frac{1}{\rho} \mu \left(\frac{(u_n)_{i+1} - 2(u_n)_i + (u_n)_{i-1}}{(\Delta x)^2} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(u^*_{n+1})_i = (u_n)_i + \Delta t & \left(-\frac{1}{2\Delta x} \left[\left(2u_{avg} \left(1 - \frac{r^2}{\left[R - \delta \sin \left(\pi \left(z - \frac{h}{L} \right) \right] \Omega(t)} \right) \right) (u_n)_{i+1} \right. \right. \right. \\
& \left. \left. - \left(2u_{avg} \left(1 - \frac{r^2}{\left[R - \delta \sin \left(\pi \left(z - \frac{h}{L} \right) \right] \Omega(t)} \right) \right) (u_n)_{i-1} \right) \right] \right. \\
& \left. + \frac{1}{\rho} \mu \left(\frac{(u_n)_{i+1} - 2(u_n)_i + (u_n)_{i-1}}{(\Delta x)^2} \right) \right)
\end{aligned} \tag{4.27}$$

Langkah ketiga yaitu menyelesaikan tekanan sementara. Tekanan sementara diselesaikan menggunakan persamaan Poisson dengan memperhatikan kembali persamaan massa. Menyesuaikan kembali kondisi ke- $(n + 1)$ pada kecepatan sementara. Persamaan (4.9) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{(u_{n+1})_{i+1} - (u_{n+1})_{i-1}}{2\Delta x} = 0 \tag{4.28}$$

Kemudian tulis kembali menjadi persamaan (4.28) menjadi:

$$\nabla(u_{n+1})_i = 0 \tag{4.29}$$

Persamaan momentum

$$\begin{aligned}
\frac{\partial u}{\partial t} = & -\frac{\partial 2u_{avg} \left(1 - \frac{r^2}{\left[R - \delta \sin \left(\pi \left(z - \frac{h}{L} \right) \right] \Omega(t)} \right) u}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] \right) \\
\text{Dimana} & \left(-\frac{\partial 2u_{avg} \left(1 - \frac{r^2}{\left[R - \delta \sin \left(\pi \left(z - \frac{h}{L} \right) \right] \Omega(t)} \right) u}{\partial x} \right) = A \text{ dan } \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] \right) = F
\end{aligned}$$

Sehingga persamaan momentum dapat ditulis sebagai berikut:

$$u_t = A - \nabla P + F \tag{4.30}$$

Selanjutnya persamaan (4.30) dipisah menjadi dua persamaan menjadi:

$$\begin{aligned}
u_t &= A + F \\
u_t &= -\nabla P
\end{aligned} \tag{4.31}$$

Persamaan (4.31) ditulis ulang dengan beda hingga sebagai berikut:

$$\frac{(u_{n+1})_i - (u_n)_i}{\Delta t} = -\nabla P \quad (4.32)$$

Kedua ruas diberikan operator ∇ , sehingga diperoleh:

$$\frac{\nabla(u_{n+1})_i - \nabla(u_n)_i}{\Delta t} = -\nabla^2 P \quad (4.33)$$

Kemudian substitusikan persamaan (4.29) ke persamaan (4.33) sehingga diperoleh persamaan Poisson sebagai berikut:

$$\begin{aligned} -\frac{\nabla(u_n)_i}{\Delta t} &= -\nabla^2 P \\ \nabla^2 P &= \frac{1}{\Delta t} \nabla(u_n)_i \end{aligned} \quad (4.34)$$

Menyelesaikan persamaan (4.34) untuk memperoleh nilai komponen tekanan. Pada ruas kiri yaitu $\nabla(u_n)_i$ disebut persamaan divergensi dengan nilai komponen kecepatan sementara. Kemudian persamaan divergensi ditulis menggunakan beda hingga, sebagai berikut:

$$\nabla(u_n)_i = \frac{(u_{n+1})_{i+1} - (u_{n+1})_{i-1}}{2\Delta x} \quad (4.35)$$

Komponen tekanan ditulis ulang menggunakan beda hingga orde dua, maka diperoleh:

$$\nabla^2 P = \frac{(P_n)_{i+1} - 2(P_n)_i + (P_n)_{i-1}}{(\Delta x)^2} \quad (4.36)$$

Kemudian persamaan (4.35) dan persamaan (4.36) disubstitusikan kedalam persamaan (4.34), sehingga diperoleh nilai tekanan sementara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\Delta t} \nabla(u_n)_i &= \frac{(P_n)_{i+1} - 2(P_n)_i + (P_n)_{i-1}}{(\Delta x)^2} \\ \frac{1}{\Delta t} \nabla(u_n)_i &= \frac{(P_n)_{i+1} + (P_n)_{i-1}}{(\Delta x)^2} + \frac{-2(P_n)_i}{(\Delta x)^2} \\ (P_n)_i \left(\frac{-2}{(\Delta x)^2} \right) &= \frac{(P_n)_{i+1} + (P_n)_{i-1}}{(\Delta x)^2} - \frac{1}{\Delta t} \nabla(u_n)_i \\ (P_n)_i &= \left[\frac{(P_n)_{i+1} + (P_n)_{i-1}}{(\Delta x)^2} - \frac{1}{\Delta t} \nabla(u_n)_i \right] \left[\left(\frac{(\Delta x)^2}{-2} \right) \right] \end{aligned} \quad (4.37)$$

Metode yang dapat digunakan untuk mempercepat konvergensi persamaan (4.37) adalah metode SOR. Persamaan metode SOR adalah sebagai berikut:

$$(P_n)_i = (1 - \omega)(P_{n-1})_i + \omega(P_n)_i \quad (4.38)$$

Dimana ω adalah parameter relaksasi. Karena menggunakan *over relaxation* maka $\omega > 1$.

Selanjutnya membuat kondisi dimana nilai tekanan berada di bawah nilai maksimum toleransi. Toleransi yang digunakan adalah 10^{-7} , dengan maksimum absolut dari tekanan = $|(P_n)_i - (P_{n-1})_i|$. Dengan kondisi yang harus dipenuhi yaitu $|(P_n)_i - (P_{n-1})_i| < 10^{-7}$. Jika kondisi ini terpenuhi, maka proses dihentikan (STOP). Jika tidak terpenuhi maka $(P_n)_i = (P_{n-1})_i$. Sehingga diperoleh nilai tekanan baru yaitu $(P_n)_i = (P_{n-1})_i$ yang merupakan hasil dari metode SOR.

Langkah keempat yaitu mengoreksi komponen kecepatan. Koreksi kecepatan dapat diperoleh dengan menghitung hubungan antara komponen kecepatan dengan komponen tekanan. pemisahan seperti langkah sebelumnya dilakukan untuk memperoleh persamaan (4.31).

$$u_t = -\nabla P_x$$

$$\frac{(u_{n+1})_i - (u_n)_i}{\Delta t} = -\frac{(P_n)_{i+1} + (P_n)_{i-1}}{2\Delta x} \quad (4.39)$$

Karena menginginkan koreksi kecepatan pada saat kondisi ke- $n + 1$ maka komponen kecepatan pada kondisi ke- n diasumsikan nol:

$$(u_n)_i = 0 \quad (4.40)$$

Kemudian substitusi persamaan (4.40) kedalam persamaan (4.39), sehingga diperoleh koreksi komponen kecepatan sebagai berikut:

$$(u_{n+1})_i = -\Delta t \left(\frac{(P_n)_{i+1} + (P_n)_{i-1}}{2\Delta x} \right) \quad (4.41)$$

Tabel 4.4 Koreksi Komponen Kecepatan

$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.01421	u_9	0.01291	u_{17}	0.007965
u_2	0.00023	u_{10}	0.012218	u_{18}	0.008308
u_3	0.007168	u_{11}	0.023592	u_{19}	0.001498
u_4	0.007982	u_{12}	0.015116	u_{20}	0.00369
u_5	0.002211	u_{13}	0.00727	u_{21}	0.00508
u_6	0.01014	u_{14}	0.01981	u_{22}	0.00265
u_7	0.0252	u_{15}	0.01657	u_{23}	0.00358
u_8	0.02742	u_{16}	0.00172	u_{24}	0.01362

Tabel 4.5 Koreksi Komponen Tekanan

$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	0	P_J	1.58E-05	P_S	-1.19E-05
P_B	7.66E-05	P_K	-2.04E-05	P_T	-1.60E-07
P_C	3.48E-05	P_L	-4.10E-05	P_U	6.64E-06
P_D	4.22E-06	P_M	-2.89E-05	P_V	6.19E-06
P_E	-1.11E-05	P_N	7.20E-06	P_W	3.05E-08
P_F	-8.08E-06	P_O	2.40E-05	P_X	-1.21E-05
P_G	9.27E-06	P_P	1.89E-05	P_Y	0
P_H	3.20E-05	P_Q	2.21E-06		
P_I	3.48E-05	P_R	-1.13E-05		

Langkah kelima yaitu memperbarui semua nilai komponen.

Komponen tekanan

$$(P_{n-1})_i = (P_n^*)_i + (P_n)_i \quad (4.42)$$

Komponen kecepatan

$$(u_{n-1})_i = (u_n^*)_i + (u_n)_i \quad (4.43)$$

Penyelesaian persamaan *Navier-Stokes* masih dalam bentuk sistem persamaan. Selanjutnya semua parameter berupa koefisien-koefisien untuk semua variabel dimasukkan saat simulasi dilakukan.

Tabel 4.6 Nilai Kecepatan

$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.0792	u_9	0.5824	u_{17}	0.518
u_2	0.30272	u_{10}	0.62854	u_{18}	0.48489
u_3	0.40422	u_{11}	0.56907	u_{19}	0.45017
u_4	0.41652	u_{12}	0.4494	u_{20}	0.4497
u_5	0.38411	u_{13}	0.36513	u_{21}	0.46908
u_6	0.36053	u_{14}	0.38615	u_{22}	0.48716
u_7	0.38757	u_{15}	0.45626	u_{23}	0.48725
u_8	0.48094	u_{16}	0.51157	u_{24}	0.45204

Tabel 4.7 Nilai Tekanan

$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	12179.44	P_J	11967.09	P_S	12030.79
P_B	12137.96	P_K	12002.75	P_T	12035.17

$P(P\alpha)$	Nilai	$P(P\alpha)$	Nilai	$P(P\alpha)$	Nilai
P_C	12137.28	P_L	12071.61	P_U	12024.38
P_D	12158.21	P_M	12115.74	P_V	12009.56
P_E	12181.5	P_N	12094.51	P_W	12001.81
P_F	12187.96	P_O	12036.68	P_X	12012.27
P_G	12158.35	P_P	11988.32	P_Y	12052.03
P_H	12084.8	P_Q	11983.3		
P_I	12004.78	P_R	12006.54		

4.3 Efektivitas Metode Volume Hingga

Pembentukan program simulasi kecepatan aliran darah pada penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis diselesaikan menggunakan metode volume hingga dengan bantuan *software* MATLAB dan *Ansys Fluent*.

4.3.1 Tahap *Programming*

Tahap *programming* terdiri atas tiga tahap yaitu tahap pemodelan, tahap formulasi numerik, dan tahap algoritma simulasi kecepatan aliran darah pada penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis. Format *programming* dari model matematika dijabarkan menggunakan metode volume hingga. Diskritisasi menggunakan metode SIMPLE akan diselesaikan dengan bantuan *software* MATLAB untuk mengetahui pengaruh bentuk penyempitan elips terhadap kecepatan aliran darah akibat penyakit aterosklerosis. Solusi menggunakan *software* MATLAB berupa solusi numerik dan grafik.

a. Tahap Pemodelan

Model matematika yang dibentuk berdasarkan metode volume hingga dengan diskritisasi SIMPLE digunakan untuk mengetahui pengaruh bentuk penyempitan elips terhadap kecepatan aliran darah akibat penyakit aterosklerosis.

b. Formulasi Numerik

Tahap ini merupakan konversi metode volume hingga menggunakan metode diskritisasi SIMPLE. Solusi numerik metode volume hingga dikonversi dan diformulasikan dengan pemrograman MATLAB. Bentuk pemrograman tersebut untuk menentukan kontur tekanan penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis.

4.3.2 *Iterative Convergence* dan Residual

Model matematika analisis kecepatan dan tekanan pada penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis yang telah dibentuk dengan metode volume hingga diselesaikan menggunakan metode numerik. Hasil dari metode numerik berupa iterasi. Efektifitas metode volume hingga dalam menyelesaikan model matematika dapat diketahui melalui hasil iterasi yang konvergen. Penentuan konvergensi dapat ditentukan melalui analisis grafik residual yang diperoleh dari simulasi aliran menggunakan *Ansys Fluent*. Residu yang dihasilkan dalam iterasi numerik tidak pernah bernilai nol absolut. Semakin kecil nilai residu maka konvergensi semakin baik dan dapat dikatakan solusi numerik semakin akurat.

4.3.3 Simulasi Pemodelan

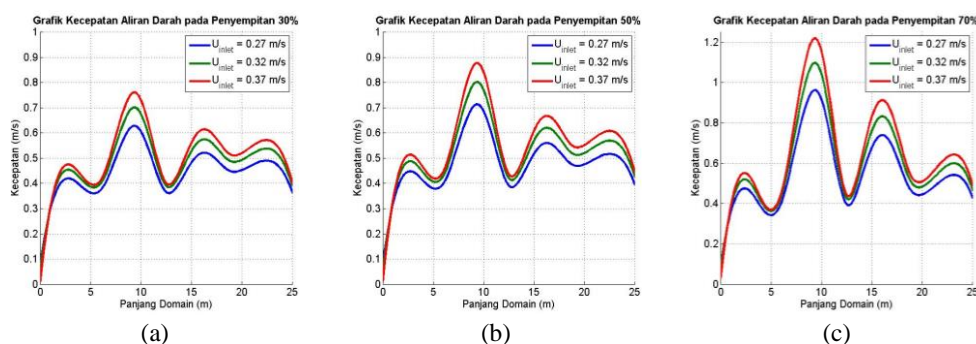
Simulasi program kecepatan aliran darah pada penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis didasarkan pada bentuk penyempitan pembuluh darah, yaitu penyempitan berbentuk elips. Data dalam simulasi ini didapat dari artikel milik Hussain, et al. (2023) dengan kecepatan awal (u_0) 0.27 m/s , 0.32 m/s , 0.37 m/s , tekanan awal (P_0) 12000 Pa , kekentalan darah (μ) $0,003\text{ kg/ms}$, dan massa jenis darah (ρ) 1063 kg/m^3 . Penyempitan pembuluh darah dikelompokkan berdasarkan keparahan derajat stenosisnya yaitu stenosis ringan sebesar 30%, stenosis sedang sebesar 50%, dan stenosis berat sebesar 70% (Muliawan, et al. 2019).

4.4 Analisis dan Pembahasan

Permasalahan kecepatan dan tekanan aliran darah pada penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis diselesaikan menggunakan *software* MATLAB dan *Ansys Fluent*. Perhitungan efektivitas metode volume hingga diselesaikan menggunakan diskritisasi SIMPLE. Kemudian dilakukan perhitungan dengan MATLAB untuk memperoleh grafik dari pengaruh kecepatan dan tekanan terhadap penyempitan pembuluh darah akibat aterosklerosis. Proses simulasi *Ansys Fluent* terdapat nilai iterasi dan residu yang digunakan untuk menentukan kekonvergenan.

4.4.1 Komputasi MATLAB

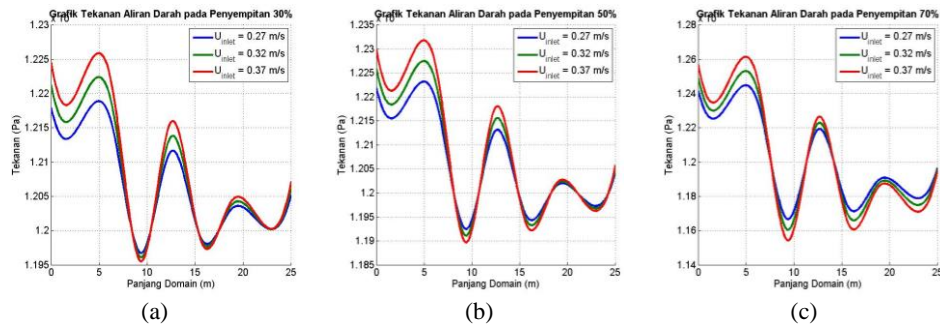
Komputasi MATLAB menghasilkan visualisasi berupa grafik. Analisis dalam penelitian ini adalah analisis pengaruh bentuk penyempitan elips terhadap kecepatan pada pembuluh darah. Hasil visualisasi yang dihasilkan dari program MATLAB yaitu grafik kecepatan dan tekanan aliran darah pada penyempitan pembuluh darah berdasarkan kecepatan awal 0.27 m/s , 0.32 m/s , dan 0.37 m/s pada penyempitan sebesar 30%, 50%, dan 70%.



Gambar 4.5 Grafik kecepatan aliran darah berdasarkan kecepatan awal pada penyempitan (a)30%; (b)50%; (c)70%

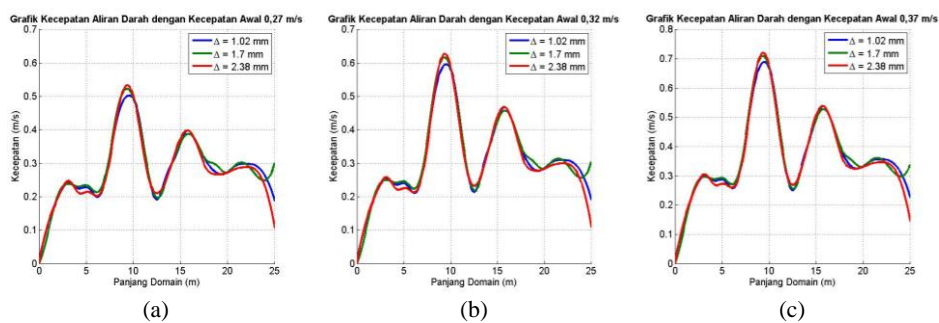
Gambar 4.5 merupakan hasil visualisasi simulasi kecepatan aliran darah pada arteri koroner berdasarkan kecepatan awal. Terlihat dalam gambar berupa grafik kecepatan dengan garis berwarna biru, hijau, dan merah. Warna biru untuk grafik kecepatan yang dipengaruhi kecepatan awal $0,27\text{ m/s}$, hijau $0,32\text{ m/s}$, dan biru $0,37\text{ m/s}$. Kecepatan awal aliran darah berpengaruh terhadap peningkatan kecepatan aliran darah. Pada kecepatan awal $0,37\text{ m/s}$, hasil tertinggi kecepatan darah melebihi kecepatan normal aliran darah manusia yaitu $0,2\text{ m/s} - 0,5\text{ m/s}$. Gambar 4.5(a) menunjukkan grafik kecepatan aliran darah pada penyempitan 30%. Grafik biru menunjukkan hasil tertinggi kecepatan aliran darah sebesar $0,62854\text{ m/s}$, grafik hijau $0,70169\text{ m/s}$, dan grafik merah $0,76133\text{ m/s}$. Gambar 4.5(b) menunjukkan grafik kecepatan aliran darah pada penyempitan 50%. Grafik biru menunjukkan hasil tertinggi kecepatan aliran darah sebesar $0,713793\text{ m/s}$, grafik hijau $0,802734\text{ m/s}$, dan grafik merah $0,878161\text{ m/s}$. Gambar 4.5(c) menunjukkan grafik kecepatan aliran darah pada penyempitan 70%. Grafik biru menunjukkan hasil tertinggi kecepatan aliran darah sebesar $0,96314\text{ m/s}$, grafik hijau $1,098257\text{ m/s}$, dan grafik merah $1,21986\text{ m/s}$. Hal ini menunjukkan semakin

besar kecepatan awal aliran darah maka kecepatan aliran darah akan semakin tinggi pada daerah penyempitan dan mengalami penurunan setelah melewati penyempitan.

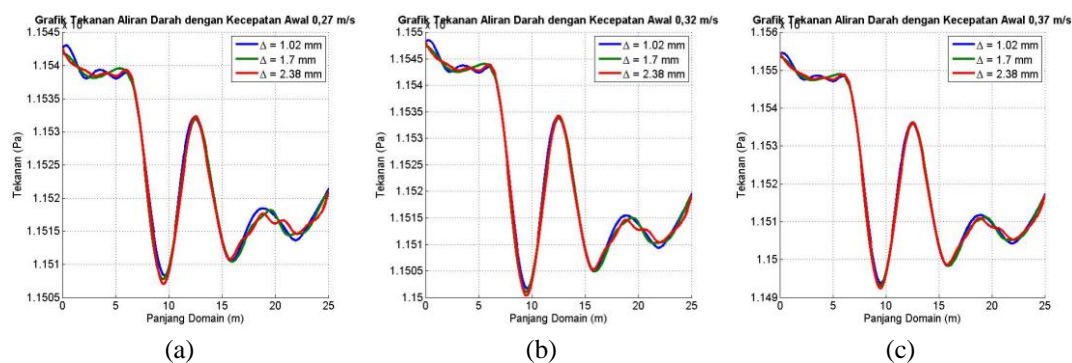


Gambar 4.6 Grafik tekanan aliran darah berdasarkan kecepatan awal pada penyempitan (a)30%; (b)50%; (c)70%

Gambar 4.6 menunjukkan grafik tekanan aliran darah pada setiap penyempitan mengalami penurunan. Gambar 4.6(a) menunjukkan grafik tekanan aliran darah pada penyempitan 30%. Grafik biru menunjukkan hasil terendah tekanan aliran darah sebesar $11967,1 \text{ Pa}$, grafik hijau 11961 Pa , dan grafik merah $11954,9 \text{ Pa}$. Gambar 4.6(b) menunjukkan grafik tekanan aliran darah pada penyempitan 50%. Grafik biru menunjukkan hasil terendah tekanan aliran darah sebesar $11924,55 \text{ Pa}$, grafik hijau $11910,57 \text{ Pa}$, dan grafik merah $11896,6 \text{ Pa}$. Gambar 4.6(c) menunjukkan grafik tekanan aliran darah pada penyempitan 70%. Grafik biru menunjukkan hasil terendah tekanan aliran darah sebesar $11665,8 \text{ Pa}$, grafik hijau $11603,9 \text{ Pa}$, dan grafik merah 11542 Pa . Hal ini menunjukkan semakin besar kecepatan awal aliran darah maka tekanan aliran darah akan semakin rendah pada daerah penyempitan.



Gambar 4.7 Grafik kecepatan aliran darah berdasarkan besar penyempitan pada kecepatan awal sebesar (a)0,27 m/s; (b)0,32 m/s; (c)0,37 m/s

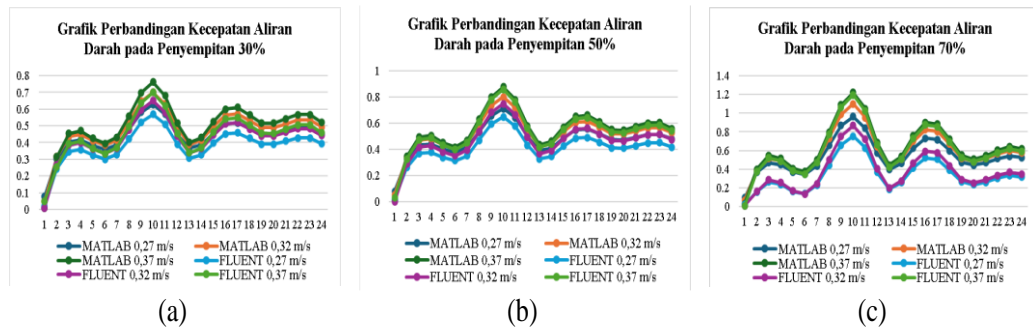


Gambar 4.8 Grafik tekanan aliran darah berdasarkan besar penyempitan pada kecepatan awal sebesar (a) $0,27 \text{ m/s}$; (b) $0,32 \text{ m/s}$; (c) $0,37 \text{ m/s}$

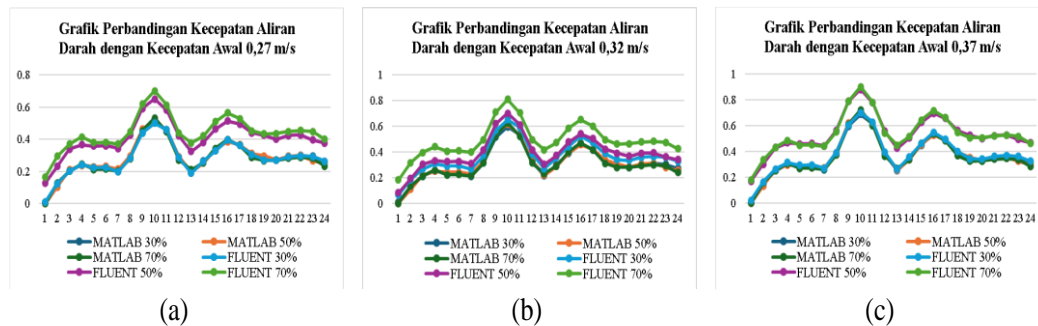
Tabel 4.8 Kecepatan dan Tekanan Aliran Darah dari MATLAB

Kecepatan Awal	Penyempitan	Kecepatan Tertinggi	Tekanan Terendah
$0,27 \text{ m/s}$	30%	$0,501001 \text{ m/s}$	$11508,59 \text{ Pa}$
	50%	$0,522543 \text{ m/s}$	$11507,77 \text{ Pa}$
	70%	$0,533427 \text{ m/s}$	$11507,11 \text{ Pa}$
$0,32 \text{ m/s}$	30%	$0,59494 \text{ m/s}$	$11501,9 \text{ Pa}$
	50%	$0,61648 \text{ m/s}$	$11501,1 \text{ Pa}$
	70%	$0,62736 \text{ m/s}$	$11500,4 \text{ Pa}$
$0,37 \text{ m/s}$	30%	$0,68833 \text{ m/s}$	$11493,9 \text{ Pa}$
	50%	$0,70987 \text{ m/s}$	$11493,1 \text{ Pa}$
	70%	$0,72075 \text{ m/s}$	$11492,4 \text{ Pa}$

Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 merupakan hasil visualisasi simulasi kecepatan dan tekanan aliran darah pada arteri koroner berdasarkan kecepatan awal tetap dengan penyempitan berbeda yaitu 30%, 50%, dan 70%. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa kecepatan aliran darah pada setiap penyempitan mengalami kenaikan dan tekanan aliran darah pada setiap penyempitan mengalami penurunan. Semakin besar area penyempitan semakin tinggi nilai kecepatan aliran darah pada daerah penyempitan. Hal ini menyebabkan tekanan pada daerah penyempitan semakin kecil. Kenaikan kecepatan dan penurunan tekanan paling signifikan terjadi pada penyempitan 70% dengan kecepatan awal $0,37 \text{ m/s}$ yang beresiko menyebabkan pecahnya pembuluh darah. Kecepatann tertinggi yang diperoleh yaitu 0.718143 m/s dan kecepatan terendah yaitu 0.498925 m/s .



Gambar 4.9 Grafik perbandingan kecepatan aliran darah antara MATLAB dan *Ansys fluent* berdasarkan kecepatan awal pada penyempitan (a)30%; (b)50%; (c)70%

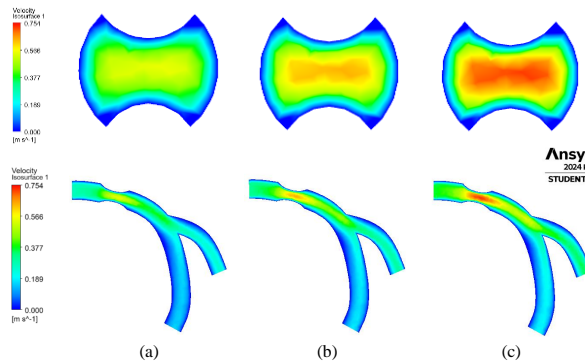


Gambar 4.10 Grafik perbandingan kecepatan aliran darah antara MATLAB dan *Ansys fluent* berdasarkan besar penyempitan pada kecepatan awal sebesar (a)0,27 m/s; (b)0,32 m/s; (c)0,37 m/s

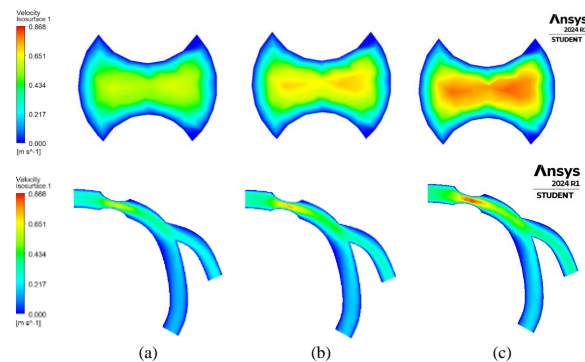
Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 menunjukkan perbandingan kecepatan aliran darah antara perhitungan metode SIMPLE menggunakan MATLAB dengan perhitungan menggunakan *Ansys fluent*. Terdapat sedikit perbedaan kecepatan yang terlihat jelas dalam bentuk grafik tersebut. Perbedaan tersebut masih signifikan dan tidak terlampaui jauh sehingga perhitungan metode SIMPLE sangat efektif.

4.4.2 Visualisasi Simulasi FLUENT

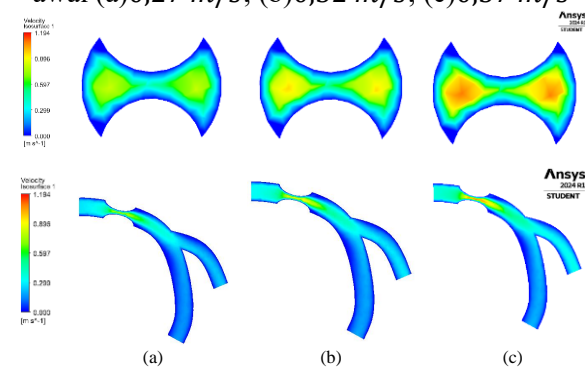
Hasil simulasi FLUENT disajikan dalam bentuk gambar arteri koroner kiri yang mengalami penyempitan akibat penyakit aterosklerosis. Simulasi dilakukan dengan mendesain tiga gambar yang berbeda yaitu ukuran penyempitan 30%, 50%, dan 70% dengan kecepatan awal sebesar 0.27 m/s, 0.32 m/s, 0.37 m/s.



Gambar 4.11 Simulasi kecepatan aliran darah pada penyempitan 30% dengan kecepatan awal (a)0,27 m/s; (b)0,32 m/s; (c)0,37 m/s



Gambar 4.12 Simulasi kecepatan aliran darah pada penyempitan 50% dengan kecepatan awal (a)0,27 m/s; (b)0,32 m/s; (c)0,37 m/s



Gambar 4.13 Simulasi kecepatan aliran darah pada penyempitan 70% dengan kecepatan awal (a)0,27 m/s; (b)0,32 m/s; (c)0,37 m/s

Gambar 4.11-Gambar 4.13 menunjukkan bahwa kecepatan aliran darah pada arteri koroner kiri mengalami peningkatan ketika melewati daerah penyempitan dan menurun ketika sudah melewati daerah penyempitan. Hal tersebut dapat ditunjukkan dengan perubahan warna, dimana kontur warna semula berwarna hijau hingga merah ketika masuk daerah penyempitan dan kembali berwarna hijau

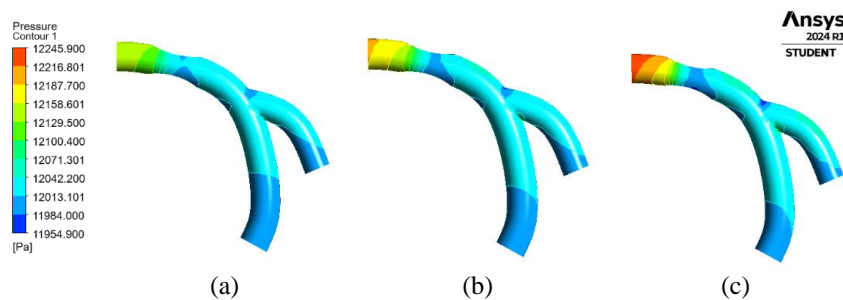
ketika sudah melewati daerah penyempitan. Berdasarkan hasil perbandingan antara ketiga simulasi arteri koroner dengan area penyempitan sebesar 30%, 50%, dan 70% yang memiliki kecepatan awal sebesar $0,37 \text{ m/s}$ memiliki area kecepatan maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan awal $0,27 \text{ m/s}$ dan $0,32 \text{ m/s}$. Hal ini menandakan bahwa semakin besar kecepatan awal maka semakin besar kecepatan yang melewati daerah penyempitan dan mengalami penurunan setelah melewati daerah penyempitan.

Selanjutnya ditunjukkan kecepatan maksimum pada setiap penyempitan pada Tabel 4.9 sebagai berikut

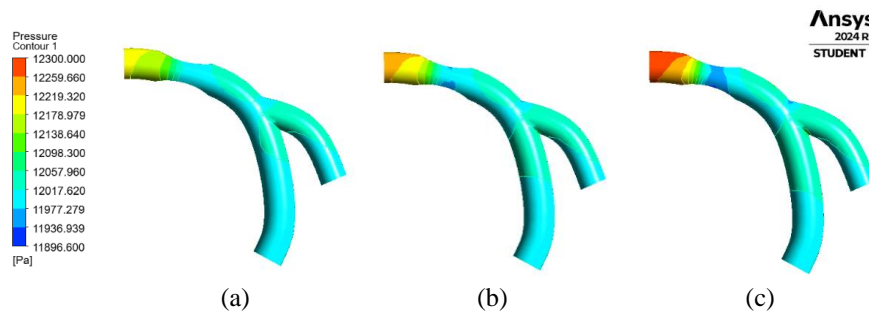
Tabel 4.9 Kecepatan Aliran Darah dari *Ansys Fluent*

Kecepatan Awal	Penyempitan	Kecepatan Tertinggi
$0,27 \text{ m/s}$	30%	$0,5 \text{ m/s}$
	50%	$0,651 \text{ m/s}$
	70%	$0,7 \text{ m/s}$
$0,32 \text{ m/s}$	30%	$0,65 \text{ m/s}$
	50%	$0,7 \text{ m/s}$
	70%	$0,8 \text{ m/s}$
$0,37 \text{ m/s}$	30%	$0,7 \text{ m/s}$
	50%	$0,88 \text{ m/s}$
	70%	$0,9 \text{ m/s}$

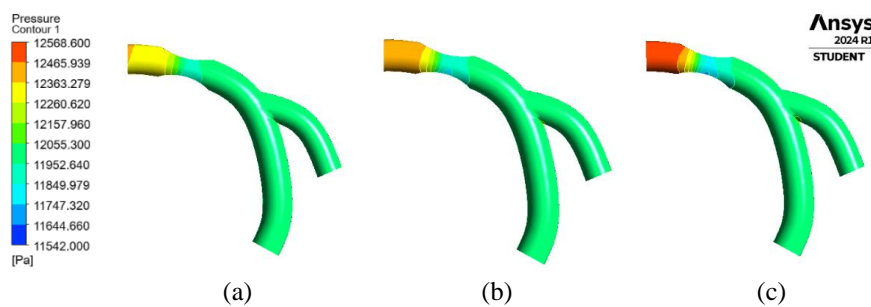
Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin besar penyempitan pada pembuluh darah maka kecepatan aliran darahnya akan semakin besar. Dari ketiga penyempitan yang berpotensi mengalami penyakit aterosklerosis paling parah yaitu pembuluh darah yang mengalami penyempitan 70%.



Gambar 4.14 Simulasi tekanan aliran darah pada penyempitan 30% dengan kecepatan awal (a) $0,27 \text{ m/s}$; (b) $0,32 \text{ m/s}$; (c) $0,37 \text{ m/s}$



Gambar 4.15 Simulasi tekanan aliran darah pada penyempitan 50% dengan kecepatan awal (a)0,27 m/s; (b)0,32 m/s; (c)0,37 m/s



Gambar 4.16 Simulasi tekanan aliran darah pada penyempitan 70% dengan kecepatan awal (a)0,27 m/s; (b)0,32 m/s; (c)0,37 m/s

Simulasi selanjutnya yaitu pengaruh area penyempitan terhadap tekanan aliran darah yang ditunjukkan pada Gambar 4.14-Gambar 4.16. Sama seperti simulasi kecepatan aliran darah, terdapat 3 area penyempitan yaitu 30%, 50%, dan 70% pada simulasi pengaruh tekanan aliran darah yang menggunakan kontur warna untuk menunjukkan perubahan dengan tekanan paling kecil yang diwakili warna biru dan tekanan paling tinggi yang diwakili dengan warna merah. Pada Gambar 4.14-Gambar 4.16 menunjukkan bahwa tekanan mengalami penurunan saat melewati area penyempitan. Gambar 4.12(c) mengalami penurunan signifikan saat melewati area penyempitan dari 12245,9 Pa menjadi 11954,9 Pa. Gambar 4.15(c) mengalami penurunan saat melewati area penyempitan dari 12300 Pa menjadi 11896,6 Pa. Gambar 4.16(c) mengalami penurunan saat melewati area penyempitan dari 12568,6 Pa menjadi 11747,32 Pa. Penurunan tekanan terbesar dialami pembuluh darah dengan penyempitan 70% yaitu pada Gambar 4.16(c) yang ditandai dengan perubahan warna dari merah hingga biru. Berdasarkan hasil

simulasi pada Gambar 4.14-Gambar 4.16 dapat disimpulkan bahwa semakin besar penyempitan maka tekanan pada aliran darah semakin kecil.

Tabel 4.10 Kecepatan Maksimum berdasarkan Kecepatan Awal yang Sama

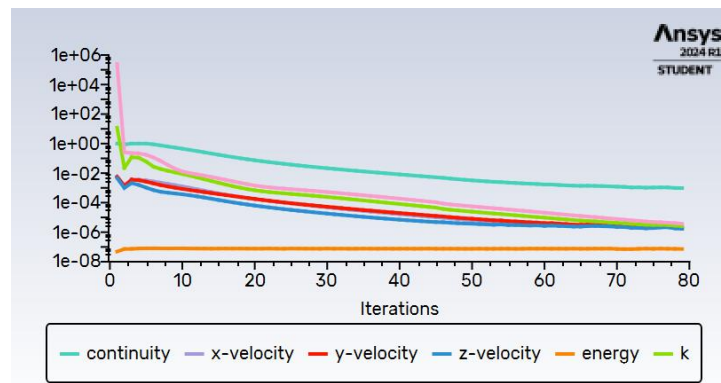
Penyempitan	Kecepatan Awal	Kecepatan Maksimum pada MATLAB	Kecepatan Maksimum pada <i>Ansys fluent</i>
30%	0,27 <i>m/s</i>	0,62854 <i>m/s</i>	0,566 <i>m/s</i>
	0,32 <i>m/s</i>	0,70169 <i>m/s</i>	0,651 <i>m/s</i>
	0,37 <i>m/s</i>	0,76133 <i>m/s</i>	0,7 <i>m/s</i>
50%	0,27 <i>m/s</i>	0,713793 <i>m/s</i>	0,65 <i>m/s</i>
	0,32 <i>m/s</i>	0,802731 <i>m/s</i>	0,75 <i>m/s</i>
	0,37 <i>m/s</i>	0,878161 <i>m/s</i>	0,86 <i>m/s</i>
70%	0,27 <i>m/s</i>	0,96314 <i>m/s</i>	0,754 <i>m/s</i>
	0,32 <i>m/s</i>	1,098257 <i>m/s</i>	0,868 <i>m/s</i>
	0,37 <i>m/s</i>	1,21986 <i>m/s</i>	1,194 <i>m/s</i>

Tabel 4.11 Kecepatan Maksimum berdasarkan Besar Penyempitan yang Sama

Kecepatan Awal	Penyempitan	Kecepatan Maksimum pada MATLAB	Kecepatan Maksimum pada <i>Ansys fluent</i>
0,27 <i>m/s</i>	30%	0,501001 <i>m/s</i>	0,5 <i>m/s</i>
	50%	0,522543 <i>m/s</i>	0,651 <i>m/s</i>
	70%	0,533427 <i>m/s</i>	0,7 <i>m/s</i>
0,32 <i>m/s</i>	30%	0,59494 <i>m/s</i>	0,65 <i>m/s</i>
	50%	0,61648 <i>m/s</i>	0,7 <i>m/s</i>
	70%	0,62736 <i>m/s</i>	0,8 <i>m/s</i>
0,37 <i>m/s</i>	30%	0,68833 <i>m/s</i>	0,7 <i>m/s</i>
	50%	0,70987 <i>m/s</i>	0,88 <i>m/s</i>
	70%	0,72075 <i>m/s</i>	0,9 <i>m/s</i>

Hasil simulasi dari Tabel 4.10 dan Tabel 4.11 menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan awal dan besar penyempitan pada pembuluh darah maka kecepatan aliran darahnya akan semakin besar. Pembuluh darah dengan kecepatan awal 0,37 *m/s* dan penyempitan 70% berpotensi mengalami penyakit aterosklerosis paling parah karena melebihi kecepatan normal dengan indikasi pembuluh darah akan pecah.

4.4.3 Analisis Efektivitas Metode Volume Hingga



Gambar 4.17 Grafik *scaled residual*

Gambar 4.17 menunjukkan grafik *Scaled Residual* dari *software Ansys fluent*. Grafik *Scaled Residual* menunjukkan kekonvergensi dimana iterasi akan berhenti jika sudah konvergen. Gambar 4.17 menunjukkan simulasi aliran darah yang mengalami penyempitan sebesar 30%, 50%, dan 70% memiliki iterasi yang konvergen ditandai dengan nilainya semakin mendekati nol.

Tabel 4.12 Tabel Residual Konvergensi

Kecepatan Awal	Besar Penyempitan	Jumlah Iterasi	Waktu Iterasi
0,27 m/s	30%	78	0:01:38
	50%	64	0:01:38
	70%	49	0:01:38
0,32 m/s	30%	79	0:01:38
	50%	70	0:01:38
	70%	54	0:01:38
0,37 m/s	30%	72	0:01:37
	50%	78	0:01:38
	70%	67	0:01:38

Tabel 4.12 merupakan hasil konvergensi yang didapat dari analisis grafik *Scaled Residual*. Hasil iterasi dari simulasi model pembuluh darah pada penyempitan sebesar 30%, 50%, dan 70% dengan kecepatan awal 0,27 m/s, 0,32 m/s, 0,37 m/s. Iterasi pada *Ansys Fluent* diatur 100 dan akan berhenti sendiri apabila sudah konvergen. Jika iterasi 100 belum mencapai konvergen maka jumlah iterasi diatur ulang menjadi 200 iterasi dan seterusnya hingga mencapai konvergen.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan:

- 1) model matematika aliran darah pada pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis berdasarkan persamaan momentum sebagai berikut:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial 2u_{avg} \left(1 - \frac{r^2}{\left[R - \delta \sin \left(\pi \left(z - \frac{h}{L} \right) \right) \right] \Omega(t)} \right) u}{\partial x} = \frac{1}{\rho} \left(-\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] \right) \right)$$

- 2) hasil simulasi grafik menunjukkan kecepatan tercepat diperoleh dari pembuluh darah yang memiliki penyempitan paling besar pada MATLAB dan *Ansys fluent* yaitu 70% dengan kecepatan awal 0,37 m/s menghasilkan kecepatan sebesar 0,72075 m/s dan 0,9 m/s. Kecepatan terendah diperoleh dari pembuluh darah yang memiliki ketebalan penyempitan terkecil yaitu 30% dengan kecepatan awal 0,27 m/s menghasilkan kecepatan sebesar 0,501001 m/s dan 0,5 m/s. Simulasi penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis dengan ketebalan 70% adalah penyempitan paling beresiko menyebabkan pecahnya pembuluh darah karena kecepatannya melebihi batas normal yaitu 0,72075 m/s dan 0,9 m/s. Berdasarkan kecepatan awal pada penyempitan, hasil simulasi grafik menunjukkan kecepatan tercepat diperoleh dengan kecepatan awal 0,37 m/s pada penyempitan 70% yaitu 1,21986 m/s dan 1,194 m/s. Kecepatan terendah diperoleh dengan kecepatan awal 0,27 m/s pada penyempitan 30% yaitu 0,62854 m/s dan 0,566 m/s.
- 3) semakin tebal penyempitan maka kecepatan aliran darah semakin besar dan tekanan aliran darahnya akan semakin kecil. Pada hasil grafik dan simulasi pengaruh ketebalan penyempitan terhadap tekanan menunjukkan penurunan tekanan yang paling signifikan dialami oleh ketebalan penyempitan 70% dengan kecepatan awal 0,37 m/s yaitu pada MATLAB 11492,4 Pa dan *Ansys fluent* 11747,32 Pa dan penurunan tekanan paling kecil dialami oleh ketebalan penyempitan 30% dengan kecepatan awal 0,27 m/s yaitu MATLAB

11508,59 Pa dan *Ansys fluent* 11954,9 Pa. Berdasarkan kecepatan awal pada penyempitan, hasil simulasi grafik menunjukkan penurunan tekanan pada MATLAB dan *Ansys fluent* yang paling signifikan diperoleh dengan kecepatan awal 0,37 m/s pada penyempitan 70% yaitu 11542 Pa dan 11542 Pa. Penurunan tekanan paling kecil dialami oleh dengan kecepatan awal 0,27 m/s pada penyempitan 30% yaitu 11967,1 Pa dan 11954,9 Pa.

- 4) metode volume hingga merupakan metode yang efektif untuk menganalisis kecepatan dan tekanan aliran darah pada penyempitan pembuluh darah akibat aterosklerosis dengan nilai residual mendekati nol dan iterasi yang konvergen.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian analisis kecepatan dan tekanan pada penyempitan pembuluh darah berbentuk elips akibat penyakit aterosklerosis, bentuk penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis perlu lebih banyak lagi dengan bentuk lainnya. Model matematika penyempitan pembuluh darah dengan diskritisasi SIMPLE dapat dikembangkan pada penyakit lain dan faktor-faktor lain yang mempengaruhinya. Penyelesaian diskritisasi dapat dikembangkan dengan metode lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Anita, F., Antoro, B., & Barokah, S. (2023). Penerapan Senam Ergonomik Terhadap Penurunan Tekanan Darah Lansia Penderita Hipertensi. *Media Husada Journal of Nursing Science*, 4(2).
- Ansys. (2023). *Ansys Fluent: Fluid Simulation Software*. <https://www.ansys.com>.
- Bachtiar, L., Gustaman, R. A., & Maywati, S. (2023). *Faktor Risiko yang Berhubungan dengan Kejadian Penyakit Jantung Koroner (PJK)*. 19(1), 52–60.
- Fatahillah, A., Nuha, M. U., & Setiawani, S. (2022). Analisis Numerik Aliran Udara pada Rongga Hidung akibat Penyakit Sinusitis menggunakan Metode Volume Hingga. *Limits: Journal of Mathematics and Its Applications*, 19(2), 217–227.
- Fatahillah, A., Setiawani, S., Mandala, A. S., Suharto, S., Murtikusuma, R. P., Safrida, L. N., Hussen, S., & Adawiyah, R. (2019). Numerical analysis of blood flow in intracranial artery stenosis affected by ischemic stroke using Finite Element method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1218(1).
- Gangurde, M. M. B., Bhaskar, S. V., & Popatrao, B. D. (2022). Design and analysis of shell and tube heat exchanger. *International Journal of Mechanical Engineering*, 7(7), 210–219. <https://doi.org/10.1051/smdo/2022005>
- Hussain, A., Naveel, M., Dar, R., Khalid, W., & Tag-eldin, E. M. (2023). Numerical Simulation of Unsteady Generic Newtonian Blood Flow and Heat Transfer Through Discrepant Shaped Dilatable Arterial Stenosis. *Results in Engineering*, 18(May), 101189.
- Hussain, M. A., Mamun, A. Al, Peters, S. A. E., Woodward, M., & Huxley, R. R. (2016). The Burden of Cardiovascular Disease Attributable to Major Modifiable Risk Factors in Indonesia. *J Epidemiol*, 26(10), 515–521.
- Junaedi, I., Mulyono, Lestari, S., Sunaryo, Y., Ubaidah, N., Shobikhah, A., Zaeni, A., Marom, S., Sohilait, E., Masnia, & Ruamba, M. Y. (2022). *Manifestasi Kurikulum Luar*. CV. Zenius Publisher.
- Katimenta, K. Y., Rosela, K., & Rahman, T. (2023). Hubungan Perilaku Merokok Dengan Derajat Keparahan Aterosklerosis pada Pasien Penyakit Jantung Koroner The Correlation of Behavior of Smoking by Degrees Severity of Atherosclerosis in Patients of Coronary Heart Disease. *Jurnal Surya Medika*, 9(1), 50–55. <https://doi.org/10.33084/jsm.v9i1.5139>
- Kemendes RI. (2022). *Penyakit Jantung Penyebab Utama Kematian, Kemendes Perkuat Layanan Primer*. <https://www.kemkes.go.id/article/view/>

22092900001/penyakit-jantung-penyebab-utama-kematian-kemenkes-perkuat-layanan-primer.html.

- Khawaja, H., & Moatamedi, M. (2018). Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations (SIMPLE) – solution in MATLAB ®. *Multiphysics*, 12(4), 313–326.
- Kusuma, J. W., Hamidah, Kurdhi, N. A., Sunarta, D. A., Nalle, M. N., Febriyanti, N., Akoit, M. Y., Kiha, E. K., Sarie, F., & Ernayani, R. (2023). *Matematika Ekonomi dan Bisnis*. Cendika Mulia Mandiri.
- Laananila, G. N., Irawati, I. D., & Ramadan, D. N. (2023). Smart Traffic Monitoring & Control Dengan Pengolahan Citra Digital. *E-Proceeding of Applied Science*, 9(1), 330–336.
- Lim, S. S., Park, S., Oh, B. H., Jung, K., Bae, J. W., & Bae, D. H. (2023). *RNF213 Vasculopathy Manifested in Various Forms Within a Family*. 50(September).
- Maharani, A., Sujarwoto, Praveen, D., Oceandy, D., Tampubolon, G., & Patel, A. (2019). Cardiovascular Disease Risk Factor Prevalence and Estimated 10-year Cardiovascular Risk Scores in Indonesia : The SMARThealth Extend study. *PLoS One*, 14(4), 1–13.
- Matson, J. E. (2022). *An Introduction to ANSYS Fluent 2022*. SDC Publications.
- Nadeem, S., Akhtar, S., Saleem, A., Akkurt, N., Ali Ghazwani, H., & Eldin, S. M. (2023). Numerical Computations of Blood Flow Through Stenosed Arteries Via CFD Tool OpenFOAM. *Alexandria Engineering Journal*, 69, 613–637.
- Narayan, S. S., Saha, S., Bhattacharjee, A., Khan, M. I., Zouidi, F., & Eldin, S. M. (2023). Assessing the Impact of Hyperviscosity on Stenosis Shape in COVID Patients. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(12), 102227.
- Nasaruddin, & Yunida. (2022). *Pengantar Simulasi Sistem Komunikasi Digital Menggunakan Matlab*. Syiah Kuala University Press.
- Ndii, M. Z. (2022). *Pemodelan Matematika*. Penerbit NEM.
- Nurhayati. (2021). *Sistem Kardiovaskuler: Keperawatan Dewasa*. Syiah Kuala University Press.
- Permatasari, D., Fatahillah, A., & Setiawani, S. (2020). Pemodelan Matematika Aliran Udara pada Bronkus akibat Penyakit Bronkitis Kronis. *Kadikma*, 11(1), 38–47.
- Pradina, M. A., Fatahillah, A., & Setiawan, S. (2020). Pemodelan Matematika Aliran Darah Pada Pembuluh Darah Arteri Dan Vena Pada Kelainan

- Jantung Single Ventricle. *Kadikma*, 11(2), 1.
- Prasetyo, S. Y. J. (2023). *Metode Penelitian Penginderaan Jauh*. Uwais Inspirasi Indonesia.
- Ramdani, R. D., Tauviqirrahman, M., & Setiyana, B. (2023). *Analisis Pengaruh Kekerasan Permukaan Terhadap Performa Journal Bearing Dengan Fluida Newtonian Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD)*. 11(3), 83–88.
- Restu, H., Saputra, H. R. M. I., Triyono, A., & Suwaji. (2021). *Metode Penelitian*. Deepublish.
- Romaidha, I., Gasper, I. A. V, Dewi, W., Kasim, Z., Hutagalung, R., Suranata, F. M., Nasus, E., Ardenny, Batmomolin, A., Gumilar, M. S., Epid, M., Kharisna, D., & Masyitah, D. (2023). *Bunga Rampai Patofisiologi Kardiovaskuler*. Media Pustaka Indo.
- Roy, M., Sikarwar, B. S., Bhandwal, M., & Ranjan, P. (2017). Modelling of Blood Flow in Stenosed Arteries. *Procedia Computer Science*, 115, 821–830.
- Santoso, A., Zaman, M. B., & Semin. (2021). *Metode Praktis di Dalam Merancang Sistem dan Permesinan Di Kapal*. Airlangga University Press.
- Shoufiah, R., & Nuryanti, S. (2021). *Faktor-Faktor Penentu Kualitas Hidup Pasien Jantung Koroner*. Jejak Pustaka.
- Sudiarta, I. W. (2020). *Metode Numerik*. Arga Puji Press.
- Suryanto, A., & Bakhri, S. (2023). *Fluida*. Wade Group.
- Tampubolon, L. F., Ginting, A., & Turnip, F. E. S. (2023). Gambaran Faktor yang Mempengaruhi Kejadian Penyakit Jantung Koroner (PJK) di Pusat Jantung Terpadu (PJT). *Jurnal Ilmiah Permas: Jurnal Ilmiah STIKES Kendal*, 13(3), 1043–1052. <https://doi.org/10.32583/pskm.v13i3.1077>
- Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*. Pearson Education Limited.
- Werdiningsih, I., Novitasari, D. C. R., & Haq, D. Z. (2022). *Pengelolaan Data Mining Dengan Pemrograman Matlab*. Airlangga University Press.
- White, F. M., & Xue, H. (2021). *Fluid Mechanics, Ninth Edition*. McGraw Hill LLC.
- Widiarta, I. P., Suarda, M., Sucipta, M., & Sukadana, I. G. K. (2022). Simulasi CFD Pertukaran Udara di Ruang Tindakan Klinik Kesehatan. *Jurnal METTEK*, 8(2), 83. <https://doi.org/10.24843/mettek.2022.v08.i02.p03>

LAMPIRAN

Lampiran A. Matriks Penelitian

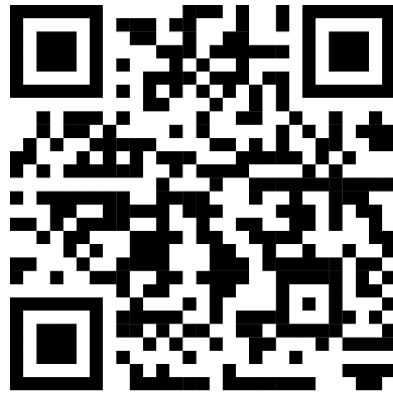
Lampiran B. Format *Programming* MATLAB

Lampiran C. Diskritisasi MATLAB

Lampiran D. Iterasi *Residual Scale*

Lampiran E. Grafik *Residual Scaled*

Lampiran F. Hasil Simulasi Fluent



LAMPIRAN

LAMPIRAN A. MATRIKS PENELITIAN

Judul	Permasalahan	Variabel	Tujuan	Sumber Data	Metode Penelitian
Analisis Numerik Penyempitan Pembuluh Darah akibat Penyakit Aterosklerosis Menggunakan Metode Volume Hingga	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bagaimana model matematika penyempitan pembuluh darah berbentuk elips akibat penyakit aterosklerosis? 2. Bagaimana pengaruh bentuk penyempitan terhadap kecepatan aliran darah akibat penyakit aterosklerosis? 3. Bagaimana pengaruh kecepatan awal terhadap kecepatan aliran darah pada pembuluh darah 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penyempitan pembuluh darah berbentuk elips 2. Kecepatan awal aliran darah 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Untuk mengembangkan model matematika penyempitan pembuluh darah berbentuk elips akibat penyakit aterosklerosis. 2. Mengetahui pengaruh bentuk penyempitan terhadap kecepatan aliran darah akibat penyakit aterosklerosis. 3. Mengetahui pengaruh kecepatan awal terhadap kecepatan aliran darah pada 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hussain, A., Dar, M. N. R., Cheema, W. K., Tag-eldin, E. M., & Kanwal, R. 2023. <i>Numerical simulation of unsteady generic Newtonian blood flow and heat transfer through discrepant shaped dilatable arterial stenosis. Case Studies in Thermal Engineering</i>, 1-13. 2. Kepustakaan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Metode Penelitian: Metode Simulasi 2. Metode Pengumpulan Data: Studi Literatur 3. Metode Analisis Data: Metode Volume Hingga

	akibat penyakit aterosklerosis? 4. Bagaimana efektifitas metode volume hingga dalam menganalisis masalah kecepatan aliran darah pada pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis?		pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis. 4. Mendeskripsikan efektifitas metode volume hingga dalam menganalisis aliran darah pada pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis.		
--	--	--	---	--	--

LAMPIRAN B. FORMAT *PROGRAMMING* MATLAB

Format *programming* simulasi aliran darah pada penyempitan pembuluh darah akibat penyakit aterosklerosis sebagai berikut:

1. Berdasarkan kecepatan awal yang sama

```
clc;
clear all;
% Parameter untuk aliran darah
rho = 1063;      % Massa jenis darah (kg/m^3)
mu = 0.003;     % Viskositas darah (Pa.s)
P_inlet = 12000; % Tekanan awal di inlet (Pa)
r = 0.0017;     % Jari-jari arteri (m)
R = 1.5;        % Koefisien resistansi pembuluh (mmHg/mL
per liter)
delta = 0.00102; % Tinggi stenosis (m)
z = 0.04;       % Posisi dalam pembuluh darah (m)
L = 25;         % Panjang pembuluh darah (m)
h = 0.03;       % Posisi stenosis (m)
% Parameter tambahan untuk simulasi pembuluh darah
dt = 0.0005;    % Time step
dx = L / 25;    % Spatial step
Nx = 25;        % Jumlah langkah ruang
max_iter = 1500; % Maksimal iterasi
tolerance = 1e-7; % Toleransi konvergensi
omega_sor = 1.8; % Faktor relaksasi untuk SOR
% Frekuensi osilasi (Hz) dikonversi ke frekuensi sudut
omega = 1.162 * 2 * pi;
t = linspace(0, 10, max_iter); % Interval waktu simulasi
% Fungsi Omega_t
Omega_t = @(t) 1 - cos(omega * t - 1) .* exp(-omega * t);
% Fungsi u_avg(t)
u_avg_t = @(t) 0.378 + 0.0893 * sin(2 * pi * t) - 0.10679 *
cos(2 * pi * t) + 0.0418 * sin(4 * pi * t) - 0.0223 * cos(4
* pi * t) + 0.0167 * sin(6 * pi * t) - 0.0406 * cos(6 * pi *
t) - 0.0086 * sin(8 * pi * t) - 0.024 * cos(8 * pi * t) -
0.0118 * sin(10 * pi * t) - 0.0167 * cos(10 * pi * t);
% Grid 1D
x = linspace(0, L, Nx);
% Kecepatan awal yang ingin diuji
U_inlet_values = [0.27, 0.32, 0.37];
u_wave_values = [0, 0.466, 0.416, 0.754, 0.396, 0.6, 0.516,
0.566, 0.376];
P_wave_values = [12245.9, 12216.801, 12217, 11954.9,
12158.601, 11984, 12042.2, 12013.101, 12071.301];
% Simpan hasil untuk plotting
results_u = cell(length(U_inlet_values), 1);
results_P = cell(length(U_inlet_values), 1);
% Loop untuk setiap kecepatan awal
for idx = 1:length(U_inlet_values)
    U_inlet = U_inlet_values(idx);
```

```

%LANGKAH 1 (Asumsikan tebakan awal untuk variabel (u*,
P*))
% Tebakan awal u_star
u_star1 = U_inlet * (1 + 0.1 * sin(2 * pi * x / L));
u_star2 = linspace(U_inlet, 0.5 * U_inlet, Nx);
u_star3 = U_inlet * (1 + 0.05 * cos(2 * pi * x / L));
% Tebakan awal P_star
P_star1 = P_inlet * (1 - 0.05 * sin(2 * pi * x / L));
P_star2 = linspace(P_inlet, 0.8 * P_inlet, Nx);
P_star3 = P_inlet * (1 + 0.03 * cos(2 * pi * x / L));
% Gabungkan tebakan awal ke dalam array untuk pemrosesan
lebih lanjut
u_star = {u_star1, u_star2, u_star3};
P_star = {P_star1, P_star2, P_star3};
% Nilai sebelumnya
u_n = u_star{idx}(1:end-1);
P_n = P_star{idx};
% Loop iterasi untuk memperbarui nilai
for iter = 1:max_iter
    u_old = u_n;          % Simpan nilai u_n sebelumnya
    P_old = P_n;          % Simpan nilai P_n sebelumnya
    % LANGKAH 2 (Mencari u_n(i+1))
    R_hat = R - delta * sin(pi * (z - (h / L))) *
real(Omega_t(iter * dt));
    for i = 2:Nx-1
        if i < 24
            term1 = -(2 * u_avg_t(iter * dt) * (1 - r^2
/ R_hat)) * (u_n(i+1) - u_n(i-1)) / (2 * dx);
            term2 = (mu / rho) * ((u_n(i+1) - 2 * u_n(i)
+ u_n(i-1)) / (dx^2));
            u_star{idx}(i) = u_n(i) + dt * (term1 +
term2);
        end
    end
    u_star{idx}(1) = U_inlet;
    u_star{idx}(end) = u_star{idx}(end-1);
    % LANGKAH 3 (Menyelesaikan Tekanan Sementara)
    for i = 2:Nx-1
        P_star{idx}(i) = (1 - omega_sor) * P_n(i) +
(omega_sor / 2) * ((P_n(i+1) + P_n(i-1)) - (dx^2 / rho) *
((u_star{idx}(i+1) - u_star{idx}(i-1)) / (2 * dx)));
    end
    P_star{idx}(1) = P_inlet;
    P_star{idx}(end) = P_star{idx}(end-1);
    % Variasi tekanan
    P_wave_interp = interp1(linspace(0, L,
length(P_wave_values)), P_wave_values, x, 'spline');
    P_star{idx} = P_inlet + (P_wave_interp - P_inlet) *
(U_inlet / max(U_inlet_values));
    % Variasi kecepatan

```

```

        u_wave_interp = interp1(linspace(0, L,
length(u_wave_values)), u_wave_values, x, 'spline');
        u_star{idx} = U_inlet + (u_wave_interp - U_inlet) *
(U_inlet / max(U_inlet_values));
        % LANGKAH 4 (Məngoreksi komponen kecepatan)
        % Koreksi kecepatan
        u_correction1 = abs(dt * (P_star{idx}(2:Nx) -
P_star{idx}(1:Nx-1)) / (2 * dx));
        u_correction2 = abs(dt * 0.8 * (P_star{idx}(2:Nx) -
P_star{idx}(1:Nx-1)) / (2 * dx));
        u_correction3 = abs(dt * (P_star{idx}(2:Nx) -
P_star{idx}(1:Nx-1)) / (2 * dx) / max(P_star{idx}));
        % Terapkan koreksi
        u_star{idx}(1:Nx-1) = u_star{idx}(1:Nx-1) +
(u_correction1 + u_correction2 + u_correction3) / 3;
        % Koreksi tekanan
        P_correction1 = zeros(1, Nx);
        P_correction1(2:Nx-1) = dt * (u_star{idx}(2:Nx-1) -
u_star{idx}(1:Nx-2)) / (2 * dx);
        P_correction2 = zeros(1, Nx);
        P_correction2(2:Nx-1) = dt * 0.8*(u_star{idx}(2:Nx-
1) - u_star{idx}(1:Nx-2)) / (2 * dx);
        P_correction3 = zeros(1, Nx);
        P_correction3(2:Nx-1) = dt * (u_star{idx}(2:Nx-1) -
u_star{idx}(1:Nx-2)) / (2 * dx) / max(u_star{idx});
        % Terapkan koreksi
        P_star{idx}(2:Nx-1) = P_star{idx}(2:Nx-1) +
(P_correction1(2:Nx-1)+ P_correction2(2:Nx-1) +
P_correction3(2:Nx-1))/3;
        % Cek konvergensi
        if max(abs(u_star{idx}(1:end-1) - u_old)) <
tolerance && max(abs(P_star{idx} - P_old)) < tolerance
            break;
        end
    end
end
%LANGKAH 5 (Memperbarui nilai semua komponen)
% Perbarui nilai untuk iterasi berikutnya
u_n = u_star;
P_n = P_star;
% Simpan hasil untuk plotting
results_u{idx} = u_star{idx}(1:end-1);
results_P{idx} = P_star{idx};
end
% Plot kecepatan
x_fine = linspace(0, L, 1000);
figure;
hold on;
colors = lines(length(U_inlet_values));
for idx = 1:length(U_inlet_values)
    u_interp = interp1(x(1:end-1), results_u{idx}, x_fine,
'spline');

```

```

    plot(x_fine, u_interp, 'DisplayName', ['U_{inlet} = ',
num2str(U_inlet_values(idx)), ' m/s'], 'LineWidth', 3.5,
'Color', colors(idx, :));
end
xlabel('Panjang Domain (m)');
ylabel('Kecepatan (m/s)');
title('Grafik Kecepatan Aliran Darah pada Penyempitan
30%', 'FontWeight', 'bold');
ylim([0 1]);
legend show;
grid on;
% Plot tekanan
figure;
hold on;
for idx = 1:length(U_inlet_values)
    P_interp = interp1(x, results_P{idx}, x_fine, 'spline');
    plot(x_fine, P_interp, 'DisplayName', ['U_{inlet} = ',
num2str(U_inlet_values(idx)), ' m/s'], 'LineWidth',
3.5, 'Color', colors(idx, :));
end
xlabel('Panjang Domain (m)');
ylabel('Tekanan (Pa)');
title('Grafik Tekanan Aliran Darah pada Penyempitan
30%', 'FontWeight', 'bold');
legend show;
grid on;

```

2. Berdasarkan besar penyempitan yang sama

```

clc;
clear all;
rng(0);
% Parameter untuk aliran darah
rho = 1063;      % Massa jenis darah (kg/m^3)
mu = 0.003;     % Viskositas darah (Pa.s)
P_inlet = 12000; % Tekanan awal di inlet (Pa)
r = 0.0017;     % Jari-jari arteri (m)
R = 1.5;        % Koefisien resistansi pembuluh (mmHg/mL
per liter)
z = 0.04;       % Posisi dalam pembuluh darah (m)
L = 25;         % Panjang pembuluh darah (m)
h = 0.03;       % Posisi stenosis (m)
deltas = [0.00102, 0.0017, 0.00238]; % Tinggi stenosis dalam
meter
% Parameter tambahan untuk simulasi pembuluh darah
dt = 0.0005;    % Time step
dx = L/25;      % Spatial step
Nx = 25;        % Jumlah langkah ruang
max_iter = 1500; % Maksimal iterasi
tolerance = 1e-7; % Toleransi konvergensi
omega_sor = 1.8; % Faktor relaksasi untuk SOR
% Frekuensi osilasi (Hz) dikonversi ke frekuensi sudut

```

```

omega = 1.162 * 2 * pi;
t = linspace(0, 10, max_iter); % Interval waktu simulasi
% Fungsi Omega_t
Omega_t = @(t) 1 - cos(omega * t - 1) .* exp(-omega * t);
% Fungsi u_avg(t)
u_avg_t = @(t) 0.378 + 0.0893 * sin(2 * pi * t) - 0.10679 *
cos(2 * pi * t) + 0.0418 * sin(4 * pi * t) - 0.0223 * cos(4
* pi * t) + 0.0167 * sin(6 * pi * t) - 0.0406 * cos(6 * pi *
t) - 0.0086 * sin(8 * pi * t) - 0.024 * cos(8 * pi * t) -
0.0118 * sin(10 * pi * t) - 0.0167 * cos(10 * pi * t);
% Grid 1D
x = linspace(0, L, Nx);
% Kecepatan awal yang ingin diuji
U_inlet_values = [0.27, 0.27, 0.27];
u_wave_values = [0, 0.4, 0.35, 0.883, 0.33, 0.662, 0.45,
0.5, 0.34];
P_wave_values = [12370.4, 12312.04, 12313, 11786.8,
12195.32, 11845.16, 11961.88, 11903.52, 12020.24];
% Simpan hasil untuk plotting
results_u = cell(length(U_inlet_values), length(deltas));
results_P = cell(length(U_inlet_values), length(deltas));
% Faktor pengali untuk variasi kecepatan dan tekanan
factors = [0.6, 0.9, 1.2];
% Loop untuk setiap nilai delta dan kecepatan awal
for delta_idx = 1:length(deltas)
    delta = deltas(delta_idx);
    for idx = 1:length(U_inlet_values)
        U_inlet = U_inlet_values(idx);
        % LANGKAH 1: Tebakan awal untuk variabel (u*, P*)
        u_star1 = U_inlet * (1 + 0.1 * sin(2 * pi * x / L));
        u_star2 = linspace(U_inlet, 0.5 * U_inlet, Nx);
        u_star3 = U_inlet * (1 + 0.05 * cos(2 * pi * x /
L));
        P_star1 = P_inlet * (1 - 0.05 * sin(2 * pi * x /
L));
        P_star2 = linspace(P_inlet, 0.8 * P_inlet, Nx);
        P_star3 = P_inlet * (1 + 0.03 * cos(2 * pi * x /
L));
        % Gabungkan tebakan awal ke dalam array untuk
pemrosesan lebih lanjut
        u_star = {u_star1, u_star2, u_star3};
        P_star = {P_star1, P_star2, P_star3};
        % Nilai sebelumnya
        u_n = u_star{idx}(1:end-1);
        P_n = P_star{idx};
        % Loop iterasi untuk memperbarui nilai
        for iter = 1:max_iter
            u_old = u_n; % Simpan nilai u_n sebelumnya
            P_old = P_n; % Simpan nilai P_n sebelumnya
            % LANGKAH 2: Mencari u_n(i+1)

```

```

        R_hat1 = R - deltas(1) * sin(pi * (z - (h / L)))
* real(Omega_t(iter * dt));
        R_hat2 = R - deltas(2) * sin(pi * (z - (h / L)))
* real(Omega_t(iter * dt));
        R_hat3 = R - deltas(3) * sin(pi * (z - (h / L)))
* real(Omega_t(iter * dt));
        % Gunakan R_hat yang sesuai untuk setiap iterasi
        R_hat_values = {R_hat1, R_hat2, R_hat3};
        R_hat = R_hat_values{delta_idx};
        for i = 2:Nx-1
            if i < 24
                term1 = -(2 * u_avg_t(iter * dt) * (1 - r^2
/ R_hat)) * (u_n(i+1) - u_n(i-1)) / (2 * dx);
                term2 = (mu / rho) * ((u_n(i+1) - 2 * u_n(i)
+ u_n(i-1)) / (dx^2));
                u_star{idx}(i) = u_n(i) + dt * (term1 +
term2);
            end
        end
        u_star{idx}(1) = U_inlet;
        u_star{idx}(end) = u_star{idx}(end-1);
        % LANGKAH 3: Menyelesaikan Tekanan Sementara
        for i = 2:Nx-1
            P_star{idx}(i) = (1 - omega_sor) * P_n(i) +
(omega_sor / 2) * ((P_n(i+1) + P_n(i-1)) - (dx^2 / rho) *
((u_star{idx}(i+1) - u_star{idx}(i-1)) / (2 * dx)));
        end
        P_star{idx}(1) = P_inlet;
        P_star{idx}(end) = P_star{idx}(end-1);
        % Variasi tekanan
        P_wave_interp = interp1(linspace(0, L,
length(P_wave_values)), P_wave_values * factors(delta_idx),
x, 'pchip');
        P_star{idx} = P_inlet + (P_wave_interp -
P_inlet) * (U_inlet / max(U_inlet_values)) * 0.1 + 0.5 *
randn(1, Nx);
        % Variasi kecepatan
        u_wave_interp = interp1(linspace(0, L,
length(u_wave_values)), u_wave_values * factors(delta_idx),
x, 'pchip');
        u_star{idx} = U_inlet + (u_wave_interp -
U_inlet) * (U_inlet / max(U_inlet_values)) + 0.01 * randn(1,
Nx);
        % LANGKAH 4: Mengoreksi komponen kecepatan dan
tekanan
        %Koreksi kecepatan
        u_correction1 = abs(dt*(P_star{idx}(2:Nx) -
P_star{idx}(1:Nx-1)) / (2 * dx));
        u_correction2 = abs(dt*0.8*(P_star{idx}(2:Nx) -
P_star{idx}(1:Nx-1)) / (2 * dx));

```

```

        u_correction3 = abs(dt*(P_star{idx}(2:Nx) -
P_star{idx}(1:Nx-1)) / (2 * dx) / max(P_star{idx}));
        % Rata-rata koreksi
        u_correction = (u_correction1 + u_correction2 +
u_correction3) / 3;
        u_star{idx}(1:Nx-1) = u_star{idx}(1:Nx-1) +
u_correction;
        u_star{idx}(1:Nx-1) = max(u_star{idx}(1:Nx-1),
0);

        % Koreksi tekanan
        P_correction1 = zeros(1, Nx);
        P_correction1(2:Nx-1) = dt*(u_star{idx}(2:Nx-1)
- u_star{idx}(1:Nx-2)) / (2 * dx);
        P_correction2 = zeros(1, Nx);
        P_correction2(2:Nx-1) =
dt*0.8*(u_star{idx}(2:Nx-1) - u_star{idx}(1:Nx-2)) / (2 *
dx);

        P_correction3 = zeros(1, Nx);
        P_correction3(2:Nx-1) = dt*(u_star{idx}(2:Nx-1)
- u_star{idx}(1:Nx-2)) / (2 * dx) / max(u_star{idx});
        % Rata-rata koreksi
        P_correction = (P_correction1(2:Nx-1) +
P_correction2(2:Nx-1) + P_correction3(2:Nx-1)) / 3;
        P_star{idx}(2:Nx-1) = P_star{idx}(2:Nx-1) +
P_correction;
        P_star{idx}(2:Nx-1) = max(P_star{idx}(2:Nx-1),
0);

        % Periksa konvergensi
        if max(abs(u_n - u_old)) < tolerance &&
max(abs(P_n - P_old)) < tolerance
            break;
        end
    end

    %LANGKAH 5 (Memperbarui nilai semua komponen)
    u_n = u_star{idx};
    P_n = P_star{idx};
    % Simpan hasilnya
    results_u{idx, delta_idx} = u_n(1:end-1);
    results_P{idx, delta_idx} = P_n;

end
end
% Plot kecepatan
figure;
colors = lines(length(U_inlet_values));
hold on;
legend_entries = {};
for delta_idx = 1:length(deltas)
    delta = deltas(delta_idx);
    for idx = 1:length(U_inlet_values)
        x_fine = linspace(0, L, 10 * Nx);

```

```

        u_interp = interp1(x(1:end-1), results_u{idx},
x_fine, 'spline');
        plot(x_fine, u_interp, 'Color', colors(idx,
:), 'LineWidth', 2.5);
    end
    legend_entries{end+1} = ['\Delta = ', num2str(delta *
1000), ' mm'];
end
hold off;
xlabel('Panjang Domain (m)');
ylabel('Kecepatan (m/s)');
title('Grafik Kecepatan Aliran Darah dengan Kecepatan Awal
0,27 m/s', 'FontWeight', 'bold');
ylim([0 0.7]);
grid on;
legend(legend_entries);
% Plot tekanan
figure;
hold on;
legend_entries = {};
for delta_idx = 1:length(deltas)
    delta = deltas(delta_idx);
    for idx = 1:length(U_inlet_values)
        x_fine = linspace(0, L, 10 * Nx);
        P_interp = interp1(x, results_P{idx}, x_fine,
'spline');
        plot(x_fine, P_interp, 'Color', colors(idx,
:), 'LineWidth', 2.5);
    end
    legend_entries{end+1} = ['\Delta = ', num2str(delta *
1000), ' mm'];
end
hold off;
xlabel('Panjang Domain (m)');
ylabel('Tekanan (Pa)');
title('Grafik Tekanan Aliran Darah dengan Kecepatan Awal
0,27 m/s', 'FontWeight', 'bold');
grid on;
legend(legend_entries);

```

LAMPIRAN C. DISKRITISASI MATLAB

1. Tebakan awal kecepatan dan tekanan pada penyempitan dengan kecepatan awal 0,27 m/s

Tebakan Awal Kecepatan					
$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai
u_1^*	0.37	u_9^*	0.402043	u_{17}^*	0.337957
u_2^*	0.379576	u_{10}^*	0.396163	u_{18}^*	0.334261
u_3^*	0.3885	u_{11}^*	0.3885	u_{19}^*	0.333
u_4^*	0.396163	u_{12}^*	0.379576	u_{20}^*	0.334261
u_5^*	0.402043	u_{13}^*	0.37	u_{21}^*	0.337957
u_6^*	0.405739	u_{14}^*	0.360424	u_{22}^*	0.343837
u_7^*	0.407	u_{15}^*	0.3515	u_{23}^*	0.3515
u_8^*	0.405739	u_{16}^*	0.343837	u_{24}^*	0.360424
Tebakan Awal Tekanan					
$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai
P_A^*	12000	P_J^*	11575.74	P_S^*	12600
P_B^*	11844.71	P_K^*	11700	P_T^*	12579.56
P_C^*	11700	P_L^*	11844.71	P_U^*	12519.62
P_D^*	11575.74	P_M^*	12000	P_V^*	12424.26
P_E^*	11480.38	P_N^*	12155.29	P_W^*	12300
P_F^*	11420.44	P_O^*	12300	P_X^*	12155.29
P_G^*	11400	P_P^*	12424.26	P_Y^*	12000
P_H^*	11420.44	P_Q^*	12519.62		
P_I^*	11480.38	P_R^*	12579.56		

2. Tebakan awal kecepatan dan tekanan pada penyempitan dengan kecepatan awal 0,32 m/s

Tebakan Awal Kecepatan					
$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai
u_1^*	0.37	u_9^*	0.308333	u_{17}^*	0.246667
u_2^*	0.362292	u_{10}^*	0.300625	u_{18}^*	0.238958
u_3^*	0.354583	u_{11}^*	0.292917	u_{19}^*	0.23125
u_4^*	0.346875	u_{12}^*	0.285208	u_{20}^*	0.223542
u_5^*	0.339167	u_{13}^*	0.2775	u_{21}^*	0.215833
u_6^*	0.331458	u_{14}^*	0.269792	u_{22}^*	0.208125
u_7^*	0.32375	u_{15}^*	0.262083	u_{23}^*	0.200417
u_8^*	0.316042	u_{16}^*	0.254375	u_{24}^*	0.192708

Tebakan Awal Tekanan					
$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai
P^*_A	12000	P^*_J	11100	P^*_S	10200
P^*_B	11900	P^*_K	11000	P^*_T	10100
P^*_C	11800	P^*_L	10900	P^*_U	10000
P^*_D	11700	P^*_M	10800	P^*_V	9900
P^*_E	11600	P^*_N	10700	P^*_W	9800
P^*_F	11500	P^*_O	10600	P^*_X	9700
P^*_G	11400	P^*_P	10500	P^*_Y	9600
P^*_H	11300	P^*_Q	10400		
P^*_I	11200	P^*_R	10300		

3. Tebakan awal kecepatan dan tekanan pada penyempitan dengan kecepatan awal 0,37 m/s

Tebakan Awal Kecepatan					
$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai
u_1^*	0.3885	u_9^*	0.36075	u_{17}^*	0.36075
u_2^*	0.38787	u_{10}^*	0.356919	u_{18}^*	0.365212
u_3^*	0.386021	u_{11}^*	0.353979	u_{19}^*	0.37
u_4^*	0.383081	u_{12}^*	0.35213	u_{20}^*	0.374788
u_5^*	0.37925	u_{13}^*	0.3515	u_{21}^*	0.37925
u_6^*	0.374788	u_{14}^*	0.35213	u_{22}^*	0.383081
u_7^*	0.37	u_{15}^*	0.353979	u_{23}^*	0.386021
u_8^*	0.365212	u_{16}^*	0.356919	u_{24}^*	0.38787

Tebakan Awal Tekanan					
$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai
P^*_A	12360	P^*_J	11745.44	P^*_S	12000
P^*_B	12347.73	P^*_K	11688.23	P^*_T	12093.17
P^*_C	12311.77	P^*_L	11652.27	P^*_U	12180
P^*_D	12254.56	P^*_M	11640	P^*_V	12254.56
P^*_E	12180	P^*_N	11652.27	P^*_W	12311.77
P^*_F	12093.17	P^*_O	11688.23	P^*_X	12347.73
P^*_G	12000	P^*_P	11745.44	P^*_Y	12360
P^*_H	11906.83	P^*_Q	11820		
P^*_I	11820	P^*_R	11906.83		

4. Tebakan awal kecepatan dan tekanan dengan penyempitan 30% dan kecepatan awal 0,27 m/s

Tebakan Awal Kecepatan					
$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai
u_1^*	0.27	u_9^*	0.293383	u_{17}^*	0.246617
u_2^*	0.276988	u_{10}^*	0.289092	u_{18}^*	0.24392
u_3^*	0.2835	u_{11}^*	0.2835	u_{19}^*	0.243
u_4^*	0.289092	u_{12}^*	0.276988	u_{20}^*	0.24392
u_5^*	0.293383	u_{13}^*	0.27	u_{21}^*	0.246617
u_6^*	0.29608	u_{14}^*	0.263012	u_{22}^*	0.250908
u_7^*	0.297	u_{15}^*	0.2565	u_{23}^*	0.2565
u_8^*	0.29608	u_{16}^*	0.250908	u_{24}^*	0.263012
Tebakan Awal Tekanan					
$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai
P_A^*	12000	P_J^*	11575.74	P_S^*	12600
P_B^*	11844.71	P_K^*	11700	P_T^*	12579.56
P_C^*	11700	P_L^*	11844.71	P_U^*	12519.62
P_D^*	11575.74	P_M^*	12000	P_V^*	12424.26
P_E^*	11480.38	P_N^*	12155.29	P_W^*	12300
P_F^*	11420.44	P_O^*	12300	P_X^*	12155.29
P_G^*	11400	P_P^*	12424.26	P_Y^*	12000
P_H^*	11420.44	P_Q^*	12519.62		
P_I^*	11480.38	P_R^*	12579.56		

5. Tebakan awal kecepatan dan tekanan dengan penyempitan 50% dan kecepatan awal 0,27 m/s

Tebakan Awal Kecepatan					
$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai
u_1^*	0.27	u_9^*	0.225	u_{17}^*	0.18
u_2^*	0.264375	u_{10}^*	0.219375	u_{18}^*	0.174375
u_3^*	0.25875	u_{11}^*	0.21375	u_{19}^*	0.16875
u_4^*	0.253125	u_{12}^*	0.208125	u_{20}^*	0.163125
u_5^*	0.2475	u_{13}^*	0.2025	u_{21}^*	0.1575
u_6^*	0.241875	u_{14}^*	0.196875	u_{22}^*	0.151875
u_7^*	0.23625	u_{15}^*	0.19125	u_{23}^*	0.14625
u_8^*	0.230625	u_{16}^*	0.185625	u_{24}^*	0.140625
Tebakan Awal Tekanan					

$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai
P^*_A	12000	P^*_J	11100	P^*_S	10200
P^*_B	11900	P^*_K	11000	P^*_T	10100
P^*_C	11800	P^*_L	10900	P^*_U	10000
P^*_D	11700	P^*_M	10800	P^*_V	9900
P^*_E	11600	P^*_N	10700	P^*_W	9800
P^*_F	11500	P^*_O	10600	P^*_X	9700
P^*_G	11400	P^*_P	10500	P^*_Y	9600
P^*_H	11300	P^*_Q	10400		
P^*_I	11200	P^*_R	10300		

6. Tebakan awal kecepatan dan tekanan dengan pada penyempitan 70% dan kecepatan awal 0,27 m/s

Tebakan Awal Kecepatan					
$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai
u_1^*	0.2835	u_9^*	0.26325	u_{17}^*	0.26325
u_2^*	0.28304	u_{10}^*	0.260454	u_{18}^*	0.266506
u_3^*	0.281691	u_{11}^*	0.258309	u_{19}^*	0.27
u_4^*	0.279546	u_{12}^*	0.25696	u_{20}^*	0.273494
u_5^*	0.27675	u_{13}^*	0.2565	u_{21}^*	0.27675
u_6^*	0.273494	u_{14}^*	0.25696	u_{22}^*	0.279546
u_7^*	0.27	u_{15}^*	0.258309	u_{23}^*	0.281691
u_8^*	0.266506	u_{16}^*	0.260454	u_{24}^*	0.28304
Tebakan Awal Tekanan					
$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai
P^*_A	12284.58	P^*_J	12214.65	P^*_S	12235.27
P^*_B	12281.31	P^*_K	12227.71	P^*_T	12233.06
P^*_C	12277.74	P^*_L	12250.79	P^*_U	12229.99
P^*_D	12276.93	P^*_M	12263.11	P^*_V	12228.33
P^*_E	12277.25	P^*_N	12251.8	P^*_W	12230.26
P^*_F	12277.58	P^*_O	12232.39	P^*_X	12235.13
P^*_G	12278.12	P^*_P	12221.83	P^*_Y	12242.73
P^*_H	12261.04	P^*_Q	12224.9		
P^*_I	12231.42	P^*_R	12231.52		

7. Tebakan awal kecepatan dan tekanan dengan penyempitan 30% dan kecepatan awal 0,32 m/s

Tebakan Awal Kecepatan					
$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai
u_1^*	0.32	u_9^*	0.347713	u_{17}^*	0.292287
u_2^*	0.328282	u_{10}^*	0.342627	u_{18}^*	0.28909
u_3^*	0.336	u_{11}^*	0.336	u_{19}^*	0.288
u_4^*	0.342627	u_{12}^*	0.328282	u_{20}^*	0.28909
u_5^*	0.347713	u_{13}^*	0.32	u_{21}^*	0.292287
u_6^*	0.35091	u_{14}^*	0.311718	u_{22}^*	0.297373
u_7^*	0.352	u_{15}^*	0.304	u_{23}^*	0.304
u_8^*	0.35091	u_{16}^*	0.297373	u_{24}^*	0.311718
Tebakan Awal Tekanan					
$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai
P_A^*	12000	P_J^*	11575.74	P_S^*	12600
P_B^*	11844.71	P_K^*	11700	P_T^*	12579.56
P_C^*	11700	P_L^*	11844.71	P_U^*	12519.62
P_D^*	11575.74	P_M^*	12000	P_V^*	12424.26
P_E^*	11480.38	P_N^*	12155.29	P_W^*	12300
P_F^*	11420.44	P_O^*	12300	P_X^*	12155.29
P_G^*	11400	P_P^*	12424.26	P_Y^*	12000
P_H^*	11420.44	P_Q^*	12519.62		
P_I^*	11480.38	P_R^*	12579.56		

8. Tebakan awal kecepatan dan tekanan dengan penyempitan 50% dan kecepatan awal 0,32 m/s

Tebakan Awal Kecepatan					
$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai
u_1^*	0.32	u_9^*	0.266667	u_{17}^*	0.213333
u_2^*	0.313333	u_{10}^*	0.26	u_{18}^*	0.206667
u_3^*	0.306667	u_{11}^*	0.253333	u_{19}^*	0.2
u_4^*	0.3	u_{12}^*	0.246667	u_{20}^*	0.193333
u_5^*	0.293333	u_{13}^*	0.24	u_{21}^*	0.186667
u_6^*	0.286667	u_{14}^*	0.233333	u_{22}^*	0.18
u_7^*	0.28	u_{15}^*	0.226667	u_{23}^*	0.173333
u_8^*	0.273333	u_{16}^*	0.22	u_{24}^*	0.166667
Tebakan Awal Tekanan					
$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai
P_A^*	12000	P_J^*	11100	P_S^*	10200
P_B^*	11900	P_K^*	11000	P_T^*	10100

P^*_C	11800	P^*_L	10900	P^*_U	10000
P^*_D	11700	P^*_M	10800	P^*_V	9900
P^*_E	11600	P^*_N	10700	P^*_W	9800
P^*_F	11500	P^*_O	10600	P^*_X	9700
P^*_G	11400	P^*_P	10500	P^*_Y	9600
P^*_H	11300	P^*_Q	10400		
P^*_I	11200	P^*_R	10300		

9. Tebakan awal kecepatan dan tekanan dengan pada penyempitan 70% dan kecepatan awal 0,32 m/s

Tebakan Awal Kecepatan					
$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai
u_1^*	0.336	u_9^*	0.312	u_{17}^*	0.312
u_2^*	0.335455	u_{10}^*	0.308686	u_{18}^*	0.315859
u_3^*	0.333856	u_{11}^*	0.306144	u_{19}^*	0.32
u_4^*	0.331314	u_{12}^*	0.304545	u_{20}^*	0.324141
u_5^*	0.328	u_{13}^*	0.304	u_{21}^*	0.328
u_6^*	0.324141	u_{14}^*	0.304545	u_{22}^*	0.331314
u_7^*	0.32	u_{15}^*	0.306144	u_{23}^*	0.333856
u_8^*	0.315859	u_{16}^*	0.308686	u_{24}^*	0.335455

Tebakan Awal Tekanan					
$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai
P^*_A	12295.81	P^*_J	12200.56	P^*_S	12228.82
P^*_B	12290.62	P^*_K	12219.1	P^*_T	12226.58
P^*_C	12288.01	P^*_L	12250.38	P^*_U	12222.66
P^*_D	12285.95	P^*_M	12267.46	P^*_V	12220.11
P^*_E	12285.79	P^*_N	12252.38	P^*_W	12222.8
P^*_F	12287.63	P^*_O	12225.18	P^*_X	12229.54
P^*_G	12285.86	P^*_P	12209.57	P^*_Y	12238.73
P^*_H	12263.1	P^*_Q	12215.06		
P^*_I	12222.99	P^*_R	12225.06		

10. Tebakan awal kecepatan dan tekanan dengan penyempitan 30% dan kecepatan awal 0,37 m/s

Tebakan Awal Kecepatan					
$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai
u_1^*	0.37	u_9^*	0.402043	u_{17}^*	0.337957

u_2^*	0.379576	u_{10}^*	0.396163	u_{18}^*	0.334261
u_3^*	0.3885	u_{11}^*	0.3885	u_{19}^*	0.333
u_4^*	0.396163	u_{12}^*	0.379576	u_{20}^*	0.334261
u_5^*	0.402043	u_{13}^*	0.37	u_{21}^*	0.337957
u_6^*	0.405739	u_{14}^*	0.360424	u_{22}^*	0.343837
u_7^*	0.407	u_{15}^*	0.3515	u_{23}^*	0.3515
u_8^*	0.405739	u_{16}^*	0.343837	u_{24}^*	0.360424
Tebakan Awal Tekanan					
$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai
P^*_A	12000	P^*_J	11575.74	P^*_S	12600
P^*_B	11844.71	P^*_K	11700	P^*_T	12579.56
P^*_C	11700	P^*_L	11844.71	P^*_U	12519.62
P^*_D	11575.74	P^*_M	12000	P^*_V	12424.26
P^*_E	11480.38	P^*_N	12155.29	P^*_W	12300
P^*_F	11420.44	P^*_O	12300	P^*_X	12155.29
P^*_G	11400	P^*_P	12424.26	P^*_Y	12000
P^*_H	11420.44	P^*_Q	12519.62		
P^*_I	11480.38	P^*_R	12579.56		

11. Tebakan awal kecepatan dan tekanan dengan penyempitan 50% dan kecepatan awal 0,37 m/s

Tebakan Awal Kecepatan					
$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai
u_1^*	0.37	u_9^*	0.308333	u_{17}^*	0.246667
u_2^*	0.362292	u_{10}^*	0.300625	u_{18}^*	0.238958
u_3^*	0.354583	u_{11}^*	0.292917	u_{19}^*	0.23125
u_4^*	0.346875	u_{12}^*	0.285208	u_{20}^*	0.223542
u_5^*	0.339167	u_{13}^*	0.2775	u_{21}^*	0.215833
u_6^*	0.331458	u_{14}^*	0.269792	u_{22}^*	0.208125
u_7^*	0.32375	u_{15}^*	0.262083	u_{23}^*	0.200417
u_8^*	0.316042	u_{16}^*	0.254375	u_{24}^*	0.192708
Tebakan Awal Tekanan					
$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai
P^*_A	12000	P^*_J	11100	P^*_S	10200
P^*_B	11900	P^*_K	11000	P^*_T	10100
P^*_C	11800	P^*_L	10900	P^*_U	10000
P^*_D	11700	P^*_M	10800	P^*_V	9900
P^*_E	11600	P^*_N	10700	P^*_W	9800

P^*_F	11500	P^*_O	10600	P^*_X	9700
P^*_G	11400	P^*_P	10500	P^*_Y	9600
P^*_H	11300	P^*_Q	10400		
P^*_I	11200	P^*_R	10300		

12. Tebakan awal kecepatan dan tekanan dengan pada penyempitan 70% dan kecepatan awal 0,37 m/s

Tebakan Awal Kecepatan					
$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai	$u_i^*(m/s)$	Nilai
u_1^*	0.3885	u_9^*	0.36075	u_{17}^*	0.36075
u_2^*	0.38787	u_{10}^*	0.356919	u_{18}^*	0.365212
u_3^*	0.386021	u_{11}^*	0.353979	u_{19}^*	0.37
u_4^*	0.383081	u_{12}^*	0.35213	u_{20}^*	0.374788
u_5^*	0.37925	u_{13}^*	0.3515	u_{21}^*	0.37925
u_6^*	0.374788	u_{14}^*	0.35213	u_{22}^*	0.383081
u_7^*	0.37	u_{15}^*	0.353979	u_{23}^*	0.386021
u_8^*	0.365212	u_{16}^*	0.356919	u_{24}^*	0.38787
Tebakan Awal Tekanan					
$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai	$P^*(Pa)$	Nilai
P^*_A	12307.64	P^*_J	12184.52	P^*_S	12221.31
P^*_B	12301.76	P^*_K	12207.02	P^*_T	12218.57
P^*_C	12297.7	P^*_L	12248.58	P^*_U	12212.99
P^*_D	12295.6	P^*_M	12270.6	P^*_V	12210.32
P^*_E	12296.95	P^*_N	12252.87	P^*_W	12212.7
P^*_F	12295.35	P^*_O	12216.12	P^*_X	12222
P^*_G	12296.62	P^*_P	12196.75	P^*_Y	12233.51
P^*_H	12267.39	P^*_Q	12203.76		
P^*_I	12213.62	P^*_R	12215.62		

Penyelesaian metode SIMPLE digunakan untuk menyelesaikan diskritisasi dengan penyempitan lainnya. Berikut koreksi komponen kecepatan dan tekanan.

1. Koreksi kecepatan dan tekanan dengan area penyempitan 30% dan kecepatan awal 0,27 m/s

Koreksi Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.01421	u_9	0.01291	u_{17}	0.00796

u_2	0.00023	u_{10}	0.01222	u_{18}	0.00831
u_3	0.00717	u_{11}	0.02359	u_{19}	0.0015
u_4	0.00798	u_{12}	0.01512	u_{20}	0.00369
u_5	0.00221	u_{13}	0.00727	u_{21}	0.00508
u_6	0.01014	u_{14}	0.01981	u_{22}	0.00265
u_7	0.0252	u_{15}	0.01657	u_{23}	0.00358
u_8	0.02742	u_{16}	0.00172	u_{24}	0.01362
Koreksi Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	0	P_J	1.58E-05	P_S	-1.19E-05
P_B	7.66E-05	P_K	-2.04E-05	P_T	-1.60E-07
P_C	3.48E-05	P_L	-4.10E-05	P_U	6.64E-06
P_D	4.22E-06	P_M	-2.89E-05	P_V	6.19E-06
P_E	-1.11E-05	P_N	7.20E-06	P_W	3.05E-08
P_F	-8.08E-06	P_O	2.40E-05	P_X	-1.21E-05
P_G	9.27E-06	P_P	1.89E-05	P_Y	0
P_H	3.20E-05	P_Q	2.21E-06		
P_I	3.48E-05	P_R	-1.13E-05		

2. Koreksi kecepatan dan tekanan dengan area penyempitan 30% dan kecepatan awal 0,32 m/s

Koreksi Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.01137	u_9	0.01033	u_{17}	0.00637
u_2	0.00018	u_{10}	0.00977	u_{18}	0.00665
u_3	0.00573	u_{11}	0.01887	u_{19}	0.0012
u_4	0.00639	u_{12}	0.01209	u_{20}	0.00296
u_5	0.00177	u_{13}	0.00582	u_{21}	0.00406
u_6	0.00811	u_{14}	0.01585	u_{22}	0.00212
u_7	0.02016	u_{15}	0.01325	u_{23}	0.00286
u_8	0.02193	u_{16}	0.00138	u_{24}	0.0109
Koreksi Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	0	P_J	1.26E-05	P_S	-9.52E-06
P_B	6.13E-05	P_K	-1.63E-05	P_T	-1.28E-07
P_C	2.78E-05	P_L	-3.28E-05	P_U	5.31E-06
P_D	3.37E-06	P_M	-2.31E-05	P_V	4.96E-06
P_E	-8.88E-06	P_N	5.76E-06	P_W	2.44E-08

P_F	-6.46E-06	P_O	1.92E-05	P_X	-9.65E-06
P_G	7.41E-06	P_P	1.52E-05	P_Y	0
P_H	2.56E-05	P_Q	1.76E-06		
P_I	2.78E-05	P_R	-9.08E-06		

3. Koreksi kecepatan dan tekanan dengan area penyempitan 30% dan kecepatan awal 0,37 m/s

Koreksi Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	1.16E-06	u_9	1.05E-06	u_{17}	6.50E-07
u_2	1.88E-08	u_{10}	9.97E-07	u_{18}	6.78E-07
u_3	5.85E-07	u_{11}	1.92E-06	u_{19}	1.22E-07
u_4	6.51E-07	u_{12}	1.23E-06	u_{20}	3.01E-07
u_5	1.80E-07	u_{13}	5.93E-07	u_{21}	4.14E-07
u_6	8.28E-07	u_{14}	1.62E-06	u_{22}	2.16E-07
u_7	2.06E-06	u_{15}	1.35E-06	u_{23}	2.92E-07
u_8	2.24E-06	u_{16}	1.41E-07	u_{24}	1.11E-06
Koreksi Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	0	P_J	2.08E-05	P_S	-1.56E-05
P_B	0.000101	P_K	-2.68E-05	P_T	-2.10E-07
P_C	4.57E-05	P_L	-5.38E-05	P_U	8.72E-06
P_D	5.54E-06	P_M	-3.79E-05	P_V	8.14E-06
P_E	-1.46E-05	P_N	9.46E-06	P_W	4.00E-08
P_F	-1.06E-05	P_O	3.16E-05	P_X	-1.58E-05
P_G	1.22E-05	P_P	2.49E-05	P_Y	0
P_H	4.20E-05	P_Q	2.90E-06		
P_I	4.57E-05	P_R	-1.49E-05		

4. Koreksi kecepatan dan tekanan dengan area penyempitan 50% dan kecepatan awal 0,27 m/s

Koreksi Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.019709	u_9	0.017905	u_{17}	0.011041
u_2	0.000318	u_{10}	0.016935	u_{18}	0.011517
u_3	0.009942	u_{11}	0.032705	u_{19}	0.002077
u_4	0.011072	u_{12}	0.020955	u_{20}	0.005122

u_5	0.003072	u_{13}	0.01008	u_{21}	0.00704
u_6	0.014059	u_{14}	0.027465	u_{22}	0.003679
u_7	0.034934	u_{15}	0.022965	u_{23}	0.004963
u_8	0.038011	u_{16}	0.002388	u_{24}	0.018886
Koreksi Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	0	P_J	1.95E-05	P_S	-1.44E-05
P_B	8.34E-05	P_K	-2.41E-05	P_T	-9.39E-07
P_C	3.72E-05	P_L	-5.01E-05	P_U	6.90E-06
P_D	3.03E-06	P_M	-3.63E-05	P_V	6.78E-06
P_E	-1.36E-05	P_N	6.83E-06	P_W	8.09E-07
P_F	-8.40E-06	P_O	2.65E-05	P_X	-1.13E-05
P_G	1.31E-05	P_P	2.08E-05	P_Y	0
P_H	3.99E-05	P_Q	2.48E-06		
P_I	4.24E-05	P_R	-1.33E-05		

5. Koreksi kecepatan dan tekanan dengan area penyempitan 50% dan kecepatan awal 0,32 m/s

Koreksi Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.015767	u_9	0.014324	u_{17}	0.008833
u_2	0.000255	u_{10}	0.013548	u_{18}	0.009213
u_3	0.007954	u_{11}	0.026164	u_{19}	0.001662
u_4	0.008858	u_{12}	0.016764	u_{20}	0.004097
u_5	0.002457	u_{13}	0.008064	u_{21}	0.005632
u_6	0.011247	u_{14}	0.021972	u_{22}	0.002943
u_7	0.027947	u_{15}	0.018372	u_{23}	0.003971
u_8	0.030409	u_{16}	0.00191	u_{24}	0.015108
Koreksi Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	0	P_J	1.56E-05	P_S	-1.16E-05
P_B	6.68E-05	P_K	-1.93E-05	P_T	-7.51E-07
P_C	2.98E-05	P_L	-4.01E-05	P_U	5.52E-06
P_D	2.42E-06	P_M	-2.90E-05	P_V	5.42E-06
P_E	-1.09E-05	P_N	5.46E-06	P_W	6.48E-07
P_F	-6.72E-06	P_O	2.12E-05	P_X	-9.04E-06
P_G	1.05E-05	P_P	1.66E-05	P_Y	0
P_H	3.19E-05	P_Q	1.98E-06		

P_I	3.39E-05	P_R	-1.07E-05
-------	----------	-------	-----------

6. Koreksi kecepatan dan tekanan dengan area penyempitan 50% dan kecepatan awal 0,37 m/s

Koreksi Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	1.60E-06	u_9	1.45E-06	u_{17}	8.96E-07
u_2	2.58E-08	u_{10}	1.37E-06	u_{18}	9.35E-07
u_3	8.07E-07	u_{11}	2.66E-06	u_{19}	1.69E-07
u_4	8.99E-07	u_{12}	1.70E-06	u_{20}	4.16E-07
u_5	2.49E-07	u_{13}	8.18E-07	u_{21}	5.72E-07
u_6	1.14E-06	u_{14}	2.23E-06	u_{22}	2.99E-07
u_7	2.84E-06	u_{15}	1.86E-06	u_{23}	4.03E-07
u_8	3.09E-06	u_{16}	1.94E-07	u_{24}	1.53E-06
Koreksi Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	0	P_J	2.23E-05	P_S	-1.64E-05
P_B	9.50E-05	P_K	-2.75E-05	P_T	-1.07E-06
P_C	4.24E-05	P_L	-5.71E-05	P_U	7.86E-06
P_D	3.45E-06	P_M	-4.13E-05	P_V	7.72E-06
P_E	-1.55E-05	P_N	7.78E-06	P_W	9.22E-07
P_F	-9.57E-06	P_O	3.02E-05	P_X	-1.29E-05
P_G	1.49E-05	P_P	2.37E-05	P_Y	0
P_H	4.54E-05	P_Q	2.82E-06		
P_I	4.83E-05	P_R	-1.52E-05		

7. Koreksi kecepatan dan tekanan dengan area penyempitan 70% dan kecepatan awal 0,27 m/s

Koreksi Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.050177	u_9	0.045583	u_{17}	0.028099
u_2	0.000807	u_{10}	0.04309	u_{18}	0.029309
u_3	0.025318	u_{11}	0.083232	u_{19}	0.005286
u_4	0.0282	u_{12}	0.053333	u_{20}	0.013034
u_5	0.007837	u_{13}	0.02565	u_{21}	0.017916
u_6	0.035771	u_{14}	0.069895	u_{22}	0.009361
u_7	0.088913	u_{15}	0.058445	u_{23}	0.012631

u_8	0.096754	u_{16}	0.006078	u_{24}	0.048061
Koreksi Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	0	P_J	3.29E-05	P_S	-4.27E-05
P_B	9.24E-05	P_K	-4.28E-05	P_T	-1.11E-05
P_C	3.65E-05	P_L	-9.01E-05	P_U	9.51E-06
P_D	-7.89E-06	P_M	-6.15E-05	P_V	1.47E-05
P_E	-2.66E-05	P_N	2.32E-05	P_W	9.77E-06
P_F	-8.61E-06	P_O	5.51E-05	P_X	-5.91E-06
P_G	3.18E-05	P_P	3.60E-05	P_Y	0
P_H	7.41E-05	P_Q	-4.49E-06		
P_I	7.29E-05	P_R	-4.01E-05		

8. Koreksi kecepatan dan tekanan dengan area penyempitan 70% dan kecepatan awal 0,32 m/s

Koreksi Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.040141	u_9	0.036466	u_{17}	0.022479
u_2	0.000646	u_{10}	0.034472	u_{18}	0.023447
u_3	0.020255	u_{11}	0.066585	u_{19}	0.004229
u_4	0.02256	u_{12}	0.042666	u_{20}	0.010427
u_5	0.006269	u_{13}	0.02052	u_{21}	0.014333
u_6	0.028617	u_{14}	0.055916	u_{22}	0.007489
u_7	0.071131	u_{15}	0.046756	u_{23}	0.010105
u_8	0.077403	u_{16}	0.004862	u_{24}	0.038448
Koreksi Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	0	P_J	2.64E-05	P_S	-3.42E-05
P_B	7.39E-05	P_K	-3.42E-05	P_T	-8.85E-06
P_C	2.92E-05	P_L	-7.21E-05	P_U	7.61E-06
P_D	-6.31E-06	P_M	-4.92E-05	P_V	1.17E-05
P_E	-2.13E-05	P_N	1.85E-05	P_W	7.82E-06
P_F	-6.89E-06	P_O	4.41E-05	P_X	-4.73E-06
P_G	2.54E-05	P_P	2.88E-05	P_Y	0
P_H	5.93E-05	P_Q	-3.59E-06		
P_I	5.83E-05	P_R	-3.21E-05		

9. Koreksi kecepatan dan tekanan dengan area penyempitan 70% dan kecepatan awal 0,37 m/s

Koreksi Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	3.98E-06	u_9	3.61E-06	u_{17}	2.23E-06
u_2	6.40E-08	u_{10}	3.42E-06	u_{18}	2.32E-06
u_3	2.01E-06	u_{11}	6.60E-06	u_{19}	4.19E-07
u_4	2.24E-06	u_{12}	4.23E-06	u_{20}	1.03E-06
u_5	6.21E-07	u_{13}	2.03E-06	u_{21}	1.42E-06
u_6	2.84E-06	u_{14}	5.54E-06	u_{22}	7.42E-07
u_7	7.05E-06	u_{15}	4.63E-06	u_{23}	1.00E-06
u_8	7.67E-06	u_{16}	4.82E-07	u_{24}	3.81E-06
Koreksi Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	0	P_J	2.70E-05	P_S	-3.50E-05
P_B	7.57E-05	P_K	-3.50E-05	P_T	-9.07E-06
P_C	2.99E-05	P_L	-7.39E-05	P_U	7.80E-06
P_D	-6.47E-06	P_M	-5.04E-05	P_V	1.20E-05
P_E	-2.18E-05	P_N	1.90E-05	P_W	8.01E-06
P_F	-7.06E-06	P_O	4.52E-05	P_X	-4.84E-06
P_G	2.61E-05	P_P	2.95E-05	P_Y	0
P_H	6.07E-05	P_Q	-3.68E-06		
P_I	5.97E-05	P_R	-3.29E-05		

10. Koreksi kecepatan dan tekanan dengan kecepatan awal 0,27 m/s pada area penyempitan 30%

Koreksi Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.000817	u_9	0.004191	u_{17}	0.001655
u_2	0.000895	u_{10}	0.003265	u_{18}	0.000937
u_3	0.0002	u_{11}	0.00577	u_{19}	0.000552
u_4	7.91E-05	u_{12}	0.003079	u_{20}	0.000768
u_5	8.34E-05	u_{13}	0.002827	u_{21}	0.000415
u_6	0.000135	u_{14}	0.004853	u_{22}	0.000482
u_7	0.00427	u_{15}	0.002641	u_{23}	0.001218
u_8	0.007407	u_{16}	0.000769	u_{24}	0.0019
Koreksi Tekanan					

$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	0	P_J	3.44E-05	P_S	-1.29E-05
P_B	6.32E-05	P_K	-4.05E-05	P_T	1.05E-06
P_C	4.00E-05	P_L	-8.06E-05	P_U	1.28E-05
P_D	2.09E-05	P_M	-3.84E-05	P_V	2.69E-08
P_E	-1.02E-05	P_N	2.88E-05	P_W	-2.27E-06
P_F	-4.09E-06	P_O	4.31E-05	P_X	-2.23E-05
P_G	-5.24E-06	P_P	2.84E-05	P_Y	0
P_H	4.41E-05	P_Q	-1.70E-05		
P_I	7.65E-05	P_R	-3.47E-05		

11. Koreksi kecepatan dan tekanan dengan kecepatan awal 0,27 m/s pada area penyempitan 50%

Koreksi Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.000654	u_9	0.003353	u_{17}	0.001324
u_2	0.000716	u_{10}	0.002612	u_{18}	0.000749
u_3	0.00016	u_{11}	0.004616	u_{19}	0.000442
u_4	6.33E-05	u_{12}	0.002464	u_{20}	0.000614
u_5	6.68E-05	u_{13}	0.002261	u_{21}	0.000332
u_6	0.000108	u_{14}	0.003883	u_{22}	0.000386
u_7	0.003416	u_{15}	0.002112	u_{23}	0.000975
u_8	0.005925	u_{16}	0.000615	u_{24}	0.00152
Koreksi Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	0	P_J	2.75E-05	P_S	-1.03E-05
P_B	5.05E-05	P_K	-3.24E-05	P_T	8.38E-07
P_C	3.20E-05	P_L	-6.45E-05	P_U	1.03E-05
P_D	1.67E-05	P_M	-3.08E-05	P_V	2.15E-08
P_E	-8.17E-06	P_N	2.30E-05	P_W	-1.82E-06
P_F	-3.27E-06	P_O	3.45E-05	P_X	-1.78E-05
P_G	-4.19E-06	P_P	2.27E-05	P_Y	0
P_H	3.53E-05	P_Q	-1.36E-05		
P_I	6.12E-05	P_R	-2.78E-05		

12. Koreksi kecepatan dan tekanan dengan kecepatan awal 0,27 m/s pada area penyempitan 70%

Koreksi Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	6.65E-08	u_9	3.41E-07	u_{17}	1.35E-07
u_2	7.28E-08	u_{10}	2.66E-07	u_{18}	7.63E-08
u_3	1.63E-08	u_{11}	4.70E-07	u_{19}	4.50E-08
u_4	6.44E-09	u_{12}	2.51E-07	u_{20}	6.25E-08
u_5	6.79E-09	u_{13}	2.30E-07	u_{21}	3.38E-08
u_6	1.10E-08	u_{14}	3.95E-07	u_{22}	3.93E-08
u_7	3.48E-07	u_{15}	2.15E-07	u_{23}	9.92E-08
u_8	6.03E-07	u_{16}	6.26E-08	u_{24}	1.55E-07
Koreksi Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	0	P_J	3.31E-05	P_S	-1.24E-05
P_B	6.08E-05	P_K	-3.89E-05	P_T	1.01E-06
P_C	3.85E-05	P_L	-7.75E-05	P_U	1.23E-05
P_D	2.01E-05	P_M	-3.70E-05	P_V	2.59E-08
P_E	-9.82E-06	P_N	2.77E-05	P_W	-2.19E-06
P_F	-3.93E-06	P_O	4.15E-05	P_X	-2.14E-05
P_G	-5.04E-06	P_P	2.73E-05	P_Y	0
P_H	4.24E-05	P_Q	-1.64E-05		
P_I	7.36E-05	P_R	-3.34E-05		

13. Koreksi kecepatan dan tekanan dengan kecepatan awal 0,32 m/s pada area penyempitan 30%

Koreksi Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.001114	u_9	0.005632	u_{17}	0.00225
u_2	0.001123	u_{10}	0.004386	u_{18}	0.001257
u_3	0.000292	u_{11}	0.007852	u_{19}	0.000713
u_4	7.90E-05	u_{12}	0.0042	u_{20}	0.001065
u_5	8.33E-05	u_{13}	0.003787	u_{21}	0.000575
u_6	0.000135	u_{14}	0.006638	u_{22}	0.000642
u_7	0.005711	u_{15}	0.003601	u_{23}	0.001653
u_8	0.010083	u_{16}	0.001089	u_{24}	0.002541
Koreksi Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	0	P_J	4.50E-05	P_S	-2.06E-05
P_B	6.59E-05	P_K	-4.96E-05	P_T	1.07E-06

P_C	4.21E-05	P_L	-9.79E-05	P_U	1.28E-05
P_D	2.18E-05	P_M	-4.77E-05	P_V	2.69E-08
P_E	-1.02E-05	P_N	3.51E-05	P_W	-2.77E-06
P_F	-4.09E-06	P_O	5.46E-05	P_X	-2.36E-05
P_G	-5.02E-06	P_P	3.45E-05	P_Y	0
P_H	5.49E-05	P_Q	-2.46E-05		
P_I	9.61E-05	P_R	-4.89E-05		

14. Koreksi kecepatan dan tekanan dengan kecepatan awal 0,32 m/s pada area penyempitan 50%

Koreksi Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.000892	u_9	0.004506	u_{17}	0.0018
u_2	0.000899	u_{10}	0.003509	u_{18}	0.001006
u_3	0.000234	u_{11}	0.006281	u_{19}	0.00057
u_4	6.32E-05	u_{12}	0.00336	u_{20}	0.000852
u_5	6.66E-05	u_{13}	0.00303	u_{21}	0.00046
u_6	0.000108	u_{14}	0.00531	u_{22}	0.000514
u_7	0.004569	u_{15}	0.002881	u_{23}	0.001322
u_8	0.008067	u_{16}	0.000871	u_{24}	0.002032
Koreksi Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	0	P_J	3.60E-05	P_S	-1.65E-05
P_B	5.27E-05	P_K	-3.97E-05	P_T	8.55E-07
P_C	3.37E-05	P_L	-7.83E-05	P_U	1.03E-05
P_D	1.74E-05	P_M	-3.82E-05	P_V	2.15E-08
P_E	-8.17E-06	P_N	2.81E-05	P_W	-2.21E-06
P_F	-3.27E-06	P_O	4.37E-05	P_X	-1.89E-05
P_G	-4.02E-06	P_P	2.76E-05	P_Y	0
P_H	4.39E-05	P_Q	-1.97E-05		
P_I	7.69E-05	P_R	-3.91E-05		

15. Koreksi kecepatan dan tekanan dengan kecepatan awal 0,32 m/s pada area penyempitan 70%

12

$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
------------	-------	------------	-------	------------	-------

u_1	9.06E-08	u_9	4.58E-07	u_{17}	1.83E-07
u_2	9.14E-08	u_{10}	3.57E-07	u_{18}	1.02E-07
u_3	2.37E-08	u_{11}	6.39E-07	u_{19}	5.80E-08
u_4	6.43E-09	u_{12}	3.42E-07	u_{20}	8.66E-08
u_5	6.77E-09	u_{13}	3.08E-07	u_{21}	4.68E-08
u_6	1.10E-08	u_{14}	5.40E-07	u_{22}	5.22E-08
u_7	4.64E-07	u_{15}	2.93E-07	u_{23}	1.34E-07
u_8	8.20E-07	u_{16}	8.86E-08	u_{24}	2.07E-07
Koreksi Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	0	P_J	3.66E-05	P_S	-1.68E-05
P_B	5.37E-05	P_K	-4.04E-05	P_T	8.70E-07
P_C	3.43E-05	P_L	-7.98E-05	P_U	1.04E-05
P_D	1.77E-05	P_M	-3.89E-05	P_V	2.19E-08
P_E	-8.32E-06	P_N	2.86E-05	P_W	-2.25E-06
P_F	-3.33E-06	P_O	4.44E-05	P_X	-1.92E-05
P_G	-4.09E-06	P_P	2.81E-05	P_Y	0
P_H	4.47E-05	P_Q	-2.00E-05		
P_I	7.83E-05	P_R	-3.99E-05		

16. Koreksi kecepatan dan tekanan dengan kecepatan awal 0,37 m/s pada area penyempitan 30%

Koreksi Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.001455	u_9	0.007285	u_{17}	0.002935
u_2	0.001388	u_{10}	0.005677	u_{18}	0.001626
u_3	0.000398	u_{11}	0.010249	u_{19}	0.000897
u_4	7.21E-05	u_{12}	0.005491	u_{20}	0.001407
u_5	7.05E-05	u_{13}	0.004894	u_{21}	0.000759
u_6	0.000128	u_{14}	0.008693	u_{22}	0.000827
u_7	0.007364	u_{15}	0.004708	u_{23}	0.002154
u_8	0.013153	u_{16}	0.001458	u_{24}	0.003278
Koreksi Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	0	P_J	5.09E-05	P_S	-2.36E-05
P_B	7.72E-05	P_K	-5.68E-05	P_T	1.09E-06
P_C	5.08E-05	P_L	-0.00011	P_U	1.28E-05
P_D	2.52E-05	P_M	-5.51E-05	P_V	2.69E-08

P_E	-1.02E-05	P_N	3.97E-05	P_W	-3.52E-06
P_F	-4.09E-06	P_O	6.27E-05	P_X	-2.55E-05
P_G	-4.77E-06	P_P	3.88E-05	P_Y	0
P_H	6.11E-05	P_Q	-2.76E-05		
P_I	0.000107	P_R	-5.46E-05		

17. Koreksi kecepatan dan tekanan dengan kecepatan awal 0,37 m/s pada area penyempitan 50%

Koreksi Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.001164	u_9	0.005828	u_{17}	0.002348
u_2	0.00111	u_{10}	0.004541	u_{18}	0.001301
u_3	0.000319	u_{11}	0.008199	u_{19}	0.000718
u_4	5.77E-05	u_{12}	0.004393	u_{20}	0.001126
u_5	5.64E-05	u_{13}	0.003915	u_{21}	0.000608
u_6	0.000102	u_{14}	0.006954	u_{22}	0.000661
u_7	0.005891	u_{15}	0.003766	u_{23}	0.001723
u_8	0.010522	u_{16}	0.001166	u_{24}	0.002623
Koreksi Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	0	P_J	4.07E-05	P_S	-1.89E-05
P_B	6.17E-05	P_K	-4.55E-05	P_T	8.74E-07
P_C	4.06E-05	P_L	-8.94E-05	P_U	1.02E-05
P_D	2.02E-05	P_M	-4.41E-05	P_V	2.15E-08
P_E	-8.17E-06	P_N	3.18E-05	P_W	-2.81E-06
P_F	-3.27E-06	P_O	5.01E-05	P_X	-2.04E-05
P_G	-3.82E-06	P_P	3.11E-05	P_Y	0
P_H	4.89E-05	P_Q	-2.21E-05		
P_I	8.56E-05	P_R	-4.37E-05		

18. Koreksi kecepatan dan tekanan dengan kecepatan awal 0,37 m/s pada area penyempitan 70%

Koreksi Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	1.18E-07	u_9	5.92E-07	u_{17}	2.38E-07
u_2	1.13E-07	u_{10}	4.61E-07	u_{18}	1.32E-07
u_3	3.24E-08	u_{11}	8.33E-07	u_{19}	7.29E-08

u_4	5.86E-09	u_{12}	4.46E-07	u_{20}	1.14E-07
u_5	5.72E-09	u_{13}	3.98E-07	u_{21}	6.17E-08
u_6	1.04E-08	u_{14}	7.06E-07	u_{22}	6.72E-08
u_7	5.98E-07	u_{15}	3.82E-07	u_{23}	1.75E-07
u_8	1.07E-06	u_{16}	1.18E-07	u_{24}	2.66E-07
Koreksi Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	0	P_J	3.60E-05	P_S	-1.67E-05
P_B	5.45E-05	P_K	-4.02E-05	P_T	7.72E-07
P_C	3.59E-05	P_L	-7.90E-05	P_U	9.05E-06
P_D	1.78E-05	P_M	-3.90E-05	P_V	1.90E-08
P_E	-7.22E-06	P_N	2.81E-05	P_W	-2.49E-06
P_F	-2.89E-06	P_O	4.43E-05	P_X	-1.81E-05
P_G	-3.37E-06	P_P	2.75E-05	P_Y	0
P_H	4.32E-05	P_Q	-1.95E-05		
P_I	7.57E-05	P_R	-3.86E-05		

Berikut hasil nilai kecepatan dan tekanan setelah diperbarui.

1. Nilai kecepatan dan tekanan dengan area penyempitan 30% dan kecepatan awal 0,27 m/s

Nilai Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.0792	u_9	0.5824	u_{17}	0.518
u_2	0.30272	u_{10}	0.62854	u_{18}	0.48489
u_3	0.40422	u_{11}	0.56907	u_{19}	0.45017
u_4	0.41652	u_{12}	0.4494	u_{20}	0.4497
u_5	0.38411	u_{13}	0.36513	u_{21}	0.46908
u_6	0.36053	u_{14}	0.38615	u_{22}	0.48716
u_7	0.38757	u_{15}	0.45626	u_{23}	0.48725
u_8	0.48094	u_{16}	0.51157	u_{24}	0.45204
Nilai Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	12179.44	P_J	11967.09	P_S	12030.79
P_B	12137.96	P_K	12002.75	P_T	12035.17
P_C	12137.28	P_L	12071.61	P_U	12024.38
P_D	12158.21	P_M	12115.74	P_V	12009.56
P_E	12181.5	P_N	12094.51	P_W	12001.81

P_F	12187.96	P_O	12036.68	P_X	12012.27
P_G	12158.35	P_P	11988.32	P_Y	12052.03
P_H	12084.8	P_Q	11983.3		
P_I	12004.78	P_R	12006.54		

2. Nilai kecepatan dan tekanan dengan area penyempitan 30% dan kecepatan awal 0,32 m/s

Nilai Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.05062	u_9	0.64701	u_{17}	0.57069
u_2	0.31553	u_{10}	0.70169	u_{18}	0.53144
u_3	0.43583	u_{11}	0.63121	u_{19}	0.49029
u_4	0.45041	u_{12}	0.48938	u_{20}	0.48974
u_5	0.41199	u_{13}	0.3895	u_{21}	0.5127
u_6	0.38405	u_{14}	0.41441	u_{22}	0.53413
u_7	0.4161	u_{15}	0.49751	u_{23}	0.53424
u_8	0.52676	u_{16}	0.56306	u_{24}	0.49251
Nilai Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	12212.67	P_J	11960.99	P_S	12036.5
P_B	12163.5	P_K	12003.26	P_T	12041.68
P_C	12162.71	P_L	12084.88	P_U	12028.9
P_D	12187.5	P_M	12137.17	P_V	12011.33
P_E	12215.12	P_N	12112.01	P_W	12002.15
P_F	12222.77	P_O	12043.47	P_X	12014.54
P_G	12187.68	P_P	11986.16	P_Y	12061.67
P_H	12100.5	P_Q	11980.2		
P_I	12005.66	P_R	12007.76		

3. Nilai kecepatan dan tekanan dengan area penyempitan 30% dan kecepatan awal 0,37 m/s

Nilai Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.00853	u_9	0.6981	u_{17}	0.60986
u_2	0.31484	u_{10}	0.76133	u_{18}	0.56448
u_3	0.45393	u_{11}	0.67983	u_{19}	0.5169
u_4	0.47079	u_{12}	0.51584	u_{20}	0.51626

u_5	0.42637	u_{13}	0.40036	u_{21}	0.54281
u_6	0.39405	u_{14}	0.42916	u_{22}	0.56759
u_7	0.43112	u_{15}	0.52525	u_{23}	0.56771
u_8	0.55907	u_{16}	0.60103	u_{24}	0.51946
Nilai Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	12245.9	P_J	11954.9	P_S	12042.2
P_B	12189.05	P_K	12003.77	P_T	12048.19
P_C	12188.13	P_L	12098.14	P_U	12033.41
P_D	12216.8	P_M	12158.6	P_V	12013.1
P_E	12248.73	P_N	12129.51	P_W	12002.49
P_F	12257.57	P_O	12050.27	P_X	12016.81
P_G	12217	P_P	11984	P_Y	12071.3
P_H	12116.21	P_Q	11977.11		
P_I	12006.55	P_R	12008.97		

4. Nilai kecepatan dan tekanan dengan area penyempitan 50% dan kecepatan awal 0,27 m/s

Nilai Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.081603	u_9	0.65673	u_{17}	0.556306
u_2	0.325181	u_{10}	0.713793	u_{18}	0.517385
u_3	0.433846	u_{11}	0.643392	u_{19}	0.475234
u_4	0.442686	u_{12}	0.497143	u_{20}	0.472492
u_5	0.402933	u_{13}	0.39117	u_{21}	0.492634
u_6	0.378411	u_{14}	0.411106	u_{22}	0.512422
u_7	0.416647	u_{15}	0.488431	u_{23}	0.514784
u_8	0.533033	u_{16}	0.549073	u_{24}	0.481803
Nilai Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	12218.92	P_J	11924.55	P_S	12012.86
P_B	12161.39	P_K	11973.98	P_T	12018.92
P_C	12160.46	P_L	12069.44	P_U	12003.97
P_D	12189.48	P_M	12130.61	P_V	11983.42
P_E	12221.8	P_N	12101.18	P_W	11972.68
P_F	12230.77	P_O	12021.02	P_X	11987.17
P_G	12189.73	P_P	11953.98	P_Y	12042.3
P_H	12087.76	P_Q	11947.01		

P_I	11976.81	P_R	11979.24
-------	----------	-------	----------

5. Nilai kecepatan dan tekanan dengan area penyempitan 50% dan kecepatan awal 0,32 m/s

Nilai Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.053471	u_9	0.735103	u_{17}	0.616083
u_2	0.342157	u_{10}	0.802734	u_{18}	0.569954
u_3	0.470945	u_{11}	0.719295	u_{19}	0.519997
u_4	0.481421	u_{12}	0.545963	u_{20}	0.516748
u_5	0.434307	u_{13}	0.420366	u_{21}	0.540619
u_6	0.405244	u_{14}	0.443994	u_{22}	0.564071
u_7	0.450561	u_{15}	0.535638	u_{23}	0.566872
u_8	0.588499	u_{16}	0.60751	u_{24}	0.527783
Nilai Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	12259.46	P_J	11910.57	P_S	12015.24
P_B	12191.28	P_K	11969.16	P_T	12022.42
P_C	12190.18	P_L	12082.3	P_U	12004.71
P_D	12224.57	P_M	12154.79	P_V	11980.35
P_E	12262.87	P_N	12119.92	P_W	11967.62
P_F	12273.5	P_O	12024.91	P_X	11984.79
P_G	12224.86	P_P	11945.46	P_Y	12050.13
P_H	12104.01	P_Q	11937.2		
P_I	11972.51	P_R	11975.4		

6. Nilai kecepatan dan tekanan dengan area penyempitan 50% dan kecepatan awal 0,37 m/s

Nilai Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.011826	u_9	0.799963	u_{17}	0.662345
u_2	0.345618	u_{10}	0.878161	u_{18}	0.60901
u_3	0.49453	u_{11}	0.781685	u_{19}	0.551246
u_4	0.506644	u_{12}	0.58127	u_{20}	0.547489
u_5	0.452168	u_{13}	0.436048	u_{21}	0.575091
u_6	0.418564	u_{14}	0.463368	u_{22}	0.602207
u_7	0.470961	u_{15}	0.569331	u_{23}	0.605445

u_8	0.630452	u_{16}	0.652433	u_{24}	0.560249
Nilai Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	12300	P_J	11896.6	P_S	12017.62
P_B	12221.16	P_K	11964.34	P_T	12025.93
P_C	12219.89	P_L	12095.16	P_U	12005.44
P_D	12259.66	P_M	12178.98	P_V	11977.28
P_E	12303.95	P_N	12138.66	P_W	11962.56
P_F	12316.24	P_O	12028.8	P_X	11982.42
P_G	12260	P_P	11936.94	P_Y	12057.96
P_H	12120.26	P_Q	11927.39		
P_I	11968.22	P_R	11971.55		

7. Nilai kecepatan dan tekanan dengan area penyempitan 70% dan kecepatan awal 0,27 m/s

Nilai Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.094943	u_9	0.866985	u_{17}	0.716356
u_2	0.364617	u_{10}	0.963138	u_{18}	0.599229
u_3	0.471032	u_{11}	0.838337	u_{19}	0.47445
u_4	0.447996	u_{12}	0.575213	u_{20}	0.442158
u_5	0.370431	u_{13}	0.395799	u_{21}	0.46992
u_6	0.345291	u_{14}	0.463374	u_{22}	0.512721
u_7	0.438093	u_{15}	0.624256	u_{23}	0.54124
u_8	0.654289	u_{16}	0.729472	u_{24}	0.523998
Nilai Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	12414.92	P_J	11665.78	P_S	11890.53
P_B	12268.46	P_K	11791.56	P_T	11905.95
P_C	12266.11	P_L	12034.51	P_U	11867.91
P_D	12340.01	P_M	12190.18	P_V	11815.61
P_E	12422.32	P_N	12115.31	P_W	11788.29
P_F	12445.2	P_O	11911.29	P_X	11825.16
P_G	12340.78	P_P	11740.7	P_Y	11965.44
P_H	12081.25	P_Q	11722.96		
P_I	11798.84	P_R	11804.98		

8. Nilai kecepatan dan tekanan dengan area penyempitan 70% dan kecepatan awal 0,32 m/s

Nilai Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.069282	u_9	0.984295	u_{17}	0.805771
u_2	0.388895	u_{10}	1.098253	u_{18}	0.666954
u_3	0.515016	u_{11}	0.950342	u_{19}	0.519067
u_4	0.487715	u_{12}	0.638491	u_{20}	0.480796
u_5	0.395787	u_{13}	0.425851	u_{21}	0.513698
u_6	0.365991	u_{14}	0.505941	u_{22}	0.564426
u_7	0.475979	u_{15}	0.696616	u_{23}	0.598226
u_8	0.732211	u_{16}	0.821316	u_{24}	0.577791
Nilai Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	12491.76	P_J	11603.89	P_S	11870.25
P_B	12318.18	P_K	11752.96	P_T	11888.54
P_C	12315.39	P_L	12040.9	P_U	11843.45
P_D	12402.97	P_M	12225.4	P_V	11781.47
P_E	12500.53	P_N	12136.67	P_W	11749.08
P_F	12527.64	P_O	11894.87	P_X	11792.78
P_G	12403.89	P_P	11692.68	P_Y	11959.04
P_H	12096.3	P_Q	11671.65		
P_I	11761.58	P_R	11768.86		

9. Nilai kecepatan dan tekanan dengan area penyempitan 70% dan kecepatan awal 0,37 m/s

Nilai Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.030107	u_9	1.088091	u_{17}	0.881673
u_2	0.39966	u_{10}	1.219855	u_{18}	0.721166
u_3	0.545488	u_{11}	1.048833	u_{19}	0.550172
u_4	0.513921	u_{12}	0.688255	u_{20}	0.505921
u_5	0.407628	u_{13}	0.442391	u_{21}	0.543964
u_6	0.373177	u_{14}	0.534994	u_{22}	0.602617
u_7	0.50035	u_{15}	0.755462	u_{23}	0.641699
u_8	0.796619	u_{16}	0.899647	u_{24}	0.618071
Nilai Tekanan					

$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	12568.6	P_J	11542	P_S	11849.98
P_B	12367.89	P_K	11714.36	P_T	11871.12
P_C	12364.67	P_L	12047.29	P_U	11818.99
P_D	12465.94	P_M	12260.62	P_V	11747.32
P_E	12578.74	P_N	12158.02	P_W	11709.87
P_F	12610.08	P_O	11878.44	P_X	11760.4
P_G	12467	P_P	11644.66	P_Y	11952.64
P_H	12111.35	P_Q	11620.35		
P_I	11724.33	P_R	11732.74		

10. Nilai kecepatan dan tekanan dengan kecepatan awal $0,27 \text{ m/s}$ pada area penyempitan 30%

Nilai Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.010503	u_9	0.440082	u_{17}	0.362435
u_2	0.125548	u_{10}	0.501001	u_{18}	0.306436
u_3	0.202678	u_{11}	0.460261	u_{19}	0.273264
u_4	0.242977	u_{12}	0.288054	u_{20}	0.269438
u_5	0.224467	u_{13}	0.191327	u_{21}	0.292199
u_6	0.22673	u_{14}	0.264807	u_{22}	0.298632
u_7	0.199699	u_{15}	0.329326	u_{23}	0.293604
u_8	0.28426	u_{16}	0.396456	u_{24}	0.263836
Nilai Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	11542.49	P_J	11508.59	P_S	11518.42
P_B	11541.45	P_K	11512.89	P_T	11517.51
P_C	11538.11	P_L	11526.88	P_U	11515.45
P_D	11539.15	P_M	11532.08	P_V	11513.61
P_E	11538.9	P_N	11526.24	P_W	11515.48
P_F	11538.11	P_O	11516.51	P_X	11518.4
P_G	11538.56	P_P	11510.61	P_Y	11521.46
P_H	11530.77	P_Q	11512.46		
P_I	11517.18	P_R	11516.64		

11. Nilai kecepatan dan tekanan dengan kecepatan awal $0,27 \text{ m/s}$ pada area penyempitan 50%

Nilai Kecepatan					
-----------------	--	--	--	--	--

$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0	u_9	0.463893	u_{17}	0.365833
u_2	0.103845	u_{10}	0.522543	u_{18}	0.310449
u_3	0.210507	u_{11}	0.452598	u_{19}	0.295975
u_4	0.238311	u_{12}	0.293365	u_{20}	0.271584
u_5	0.230381	u_{13}	0.196339	u_{21}	0.294129
u_6	0.232141	u_{14}	0.253285	u_{22}	0.299241
u_7	0.214058	u_{15}	0.334824	u_{23}	0.268009
u_8	0.297214	u_{16}	0.385875	u_{24}	0.248475
Nilai Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	11541.79	P_J	11507.77	P_S	11517.18
P_B	11540.57	P_K	11513.02	P_T	11517.98
P_C	11538.63	P_L	11525.38	P_U	11514.81
P_D	11538.17	P_M	11532	P_V	11514.59
P_E	11538.73	P_N	11526.82	P_W	11515.02
P_F	11539.53	P_O	11516.93	P_X	11518.03
P_G	11538.4	P_P	11510.75	P_Y	11520.83
P_H	11530.78	P_Q	11511.78		
P_I	11515.28	P_R	11515.53		

12. Nilai kecepatan dan tekanan dengan kecepatan awal 0,27 m/s pada area penyempitan 70%

Nilai Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0	u_9	0.453339	u_{17}	0.361853
u_2	0.128882	u_{10}	0.533427	u_{18}	0.28588
u_3	0.202903	u_{11}	0.44598	u_{19}	0.267355
u_4	0.247081	u_{12}	0.271803	u_{20}	0.26952
u_5	0.211768	u_{13}	0.210274	u_{21}	0.282723
u_6	0.214323	u_{14}	0.254511	u_{22}	0.288614
u_7	0.202973	u_{15}	0.343445	u_{23}	0.28174
u_8	0.279348	u_{16}	0.3978	u_{24}	0.233007
Nilai Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	11542.64	P_J	11507.11	P_S	11517.61
P_B	11540.09	P_K	11512.49	P_T	11516.2
P_C	11539.29	P_L	11524.94	P_U	11516.57

P_D	11538.45	P_M	11532.4	P_V	11514.62
P_E	11538.89	P_N	11525.74	P_W	11515.81
P_F	11538.46	P_O	11516.64	P_X	11517.05
P_G	11539.02	P_P	11510.77	P_Y	11520.98
P_H	11530.96	P_Q	11513.24		
P_I	11516.25	P_R	11514.92		

13. Nilai kecepatan dan tekanan dengan kecepatan awal 0,32 m/s pada area penyempitan 30%

Nilai Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.010592	u_9	0.512804	u_{17}	0.417569
u_2	0.131105	u_{10}	0.594938	u_{18}	0.333177
u_3	0.212361	u_{11}	0.535974	u_{19}	0.284712
u_4	0.254377	u_{12}	0.329102	u_{20}	0.280927
u_5	0.235867	u_{13}	0.213815	u_{21}	0.303647
u_6	0.23813	u_{14}	0.299986	u_{22}	0.31008
u_7	0.211531	u_{15}	0.38737	u_{23}	0.304068
u_8	0.317774	u_{16}	0.466752	u_{24}	0.271695
Nilai Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	11548.14	P_J	11501.88	P_S	11515.42
P_B	11546.5	P_K	11508.42	P_T	11514.19
P_C	11542.7	P_L	11526.58	P_U	11511.54
P_D	11543.56	P_M	11534.02	P_V	11509.37
P_E	11543.31	P_N	11526.26	P_W	11511.56
P_F	11542.52	P_O	11512.96	P_X	11515.35
P_G	11542.97	P_P	11505.13	P_Y	11519.69
P_H	11532.29	P_Q	11507.63		
P_I	11513.36	P_R	11513		

14. Nilai kecepatan dan tekanan dengan kecepatan awal 0,32 m/s pada area penyempitan 50%

Nilai Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0	u_9	0.536614	u_{17}	0.420967
u_2	0.109403	u_{10}	0.616479	u_{18}	0.337189

u_3	0.220246	u_{11}	0.528312	u_{19}	0.307327
u_4	0.249711	u_{12}	0.334413	u_{20}	0.283073
u_5	0.241781	u_{13}	0.218827	u_{21}	0.305577
u_6	0.243541	u_{14}	0.288465	u_{22}	0.310689
u_7	0.225891	u_{15}	0.392867	u_{23}	0.278473
u_8	0.330728	u_{16}	0.456171	u_{24}	0.256334
Nilai Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	11547.44	P_J	11501.06	P_S	11514.18
P_B	11545.62	P_K	11508.55	P_T	11514.66
P_C	11543.23	P_L	11525.08	P_U	11510.89
P_D	11542.58	P_M	11533.94	P_V	11510.35
P_E	11543.14	P_N	11526.84	P_W	11511.11
P_F	11543.94	P_O	11513.38	P_X	11514.98
P_G	11542.81	P_P	11505.28	P_Y	11519.07
P_H	11532.31	P_Q	11506.95		
P_I	11511.46	P_R	11511.88		

15. Nilai kecepatan dan tekanan dengan kecepatan awal $0,32 \text{ m/s}$ pada area penyempitan 70%

Nilai Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0	u_9	0.526061	u_{17}	0.416987
u_2	0.13444	u_{10}	0.627364	u_{18}	0.312621
u_3	0.212641	u_{11}	0.521694	u_{19}	0.278803
u_4	0.258481	u_{12}	0.312851	u_{20}	0.280898
u_5	0.223168	u_{13}	0.232762	u_{21}	0.294171
u_6	0.225723	u_{14}	0.289691	u_{22}	0.300062
u_7	0.214806	u_{15}	0.401489	u_{23}	0.292204
u_8	0.312862	u_{16}	0.468096	u_{24}	0.240866
Nilai Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	11548.29	P_J	11500.4	P_S	11514.61
P_B	11545.14	P_K	11508.03	P_T	11512.88
P_C	11543.88	P_L	11524.64	P_U	11512.66
P_D	11542.86	P_M	11534.34	P_V	11510.39
P_E	11543.3	P_N	11525.75	P_W	11511.89
P_F	11542.88	P_O	11513.09	P_X	11514.01

P_G	11543.43	P_P	11505.3	P_Y	11519.21
P_H	11532.49	P_Q	11508.41		
P_I	11512.42	P_R	11511.27		

16. Nilai kecepatan dan tekanan dengan kecepatan awal $0,37 \text{ m/s}$ pada area penyempitan 30%

Nilai Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0.010695	u_9	0.594322	u_{17}	0.481907
u_2	0.153718	u_{10}	0.688325	u_{18}	0.386154
u_3	0.252196	u_{11}	0.614916	u_{19}	0.331568
u_4	0.301179	u_{12}	0.380267	u_{20}	0.32783
u_5	0.282671	u_{13}	0.250147	u_{21}	0.350502
u_6	0.284927	u_{14}	0.345469	u_{22}	0.356935
u_7	0.258827	u_{15}	0.449036	u_{23}	0.349418
u_8	0.377473	u_{16}	0.537063	u_{24}	0.313116
Nilai Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	11554.38	P_J	11493.9	P_S	11511.7
P_B	11552.07	P_K	11503.02	P_T	11510.11
P_C	11547.74	P_L	11525.98	P_U	11506.77
P_D	11548.39	P_M	11536	P_V	11504.24
P_E	11548.12	P_N	11526.02	P_W	11506.79
P_F	11547.31	P_O	11508.62	P_X	11511.59
P_G	11547.74	P_P	11498.58	P_Y	11517.4
P_H	11533.76	P_Q	11501.81		
P_I	11508.68	P_R	11508.55		

17. Nilai kecepatan dan tekanan dengan kecepatan awal $0,37 \text{ m/s}$ pada area penyempitan 50%

Nilai Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0	u_9	0.618132	u_{17}	0.485306
u_2	0.132015	u_{10}	0.709867	u_{18}	0.390167
u_3	0.260145	u_{11}	0.607253	u_{19}	0.354071
u_4	0.296509	u_{12}	0.385578	u_{20}	0.329976
u_5	0.288577	u_{13}	0.255159	u_{21}	0.352433

u_6	0.290343	u_{14}	0.333948	u_{22}	0.357544
u_7	0.273186	u_{15}	0.454533	u_{23}	0.323823
u_8	0.390427	u_{16}	0.526481	u_{24}	0.297756
Nilai Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	11553.68	P_J	11493.08	P_S	11510.47
P_B	11551.19	P_K	11503.15	P_T	11510.58
P_C	11548.26	P_L	11524.47	P_U	11506.13
P_D	11547.4	P_M	11535.91	P_V	11505.21
P_E	11547.95	P_N	11526.61	P_W	11506.34
P_F	11548.73	P_O	11509.03	P_X	11511.21
P_G	11547.58	P_P	11498.72	P_Y	11516.78
P_H	11533.77	P_Q	11501.13		
P_I	11506.78	P_R	11507.43		

18. Nilai kecepatan dan tekanan dengan kecepatan awal $0,37 \text{ m/s}$ pada area penyempitan 70%

Nilai Kecepatan					
$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai	$u_i(m/s)$	Nilai
u_1	0	u_9	0.607579	u_{17}	0.481326
u_2	0.157052	u_{10}	0.720751	u_{18}	0.365598
u_3	0.25254	u_{11}	0.600635	u_{19}	0.325659
u_4	0.305279	u_{12}	0.364016	u_{20}	0.3278
u_5	0.269972	u_{13}	0.269094	u_{21}	0.341026
u_6	0.272521	u_{14}	0.335174	u_{22}	0.346917
u_7	0.262102	u_{15}	0.463154	u_{23}	0.337554
u_8	0.372561	u_{16}	0.538406	u_{24}	0.282287
Nilai Tekanan					
$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai	$P(Pa)$	Nilai
P_A	11554.54	P_J	11492.42	P_S	11510.9
P_B	11550.71	P_K	11502.63	P_T	11508.8
P_C	11548.92	P_L	11524.04	P_U	11507.89
P_D	11547.68	P_M	11536.31	P_V	11505.25
P_E	11548.11	P_N	11525.52	P_W	11507.13
P_F	11547.66	P_O	11508.74	P_X	11510.24
P_G	11548.2	P_P	11498.74	P_Y	11516.92
P_H	11533.96	P_Q	11502.59		
P_I	11507.75	P_R	11506.82		

LAMPIRAN D. ITERASI *RESIDUAL SCALE*

1. Kecepatan Awal 0,27 m/s

Penyempitan 30%

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
1	1.0000e+00	5.9695e-03	5.6127e-03	4.5345e-03	0:00:00
2	8.7460e-01	1.4416e-03	1.3545e-03	9.9069e-04	0:01:38
3	1.0000e+00	3.5610e-03	3.5926e-03	2.1098e-03	0:01:18
4	1.0000e+00	3.5806e-03	3.2948e-03	1.5703e-03	0:01:01
5	9.9862e-01	3.2017e-03	2.6489e-03	1.0398e-03	0:00:49
6	8.9403e-01	2.7026e-03	2.0144e-03	7.1398e-04	0:00:39
7	7.5514e-01	2.2486e-03	1.5511e-03	5.4663e-04	0:00:30
8	6.3346e-01	1.8634e-03	1.2497e-03	4.7254e-04	0:00:24
9	5.3478e-01	1.5345e-03	1.0247e-03	4.1687e-04	0:00:37
10	4.5047e-01	1.2521e-03	8.5533e-04	3.6774e-04	0:00:29
11	3.7700e-01	1.0138e-03	7.2051e-04	3.1613e-04	0:00:23
12	3.1294e-01	8.1370e-04	6.1099e-04	2.6778e-04	0:00:18
13	2.5863e-01	6.5077e-04	5.2090e-04	2.2357e-04	0:00:15
14	2.1286e-01	5.2223e-04	4.4391e-04	1.8409e-04	0:00:12
15	1.7589e-01	4.2306e-04	3.7939e-04	1.5146e-04	0:00:09
16	1.4614e-01	3.4703e-04	3.2528e-04	1.2499e-04	0:00:07
17	1.2186e-01	2.8790e-04	2.7907e-04	1.0393e-04	0:00:22
18	1.0234e-01	2.4180e-04	2.4037e-04	8.7402e-05	0:00:18
19	8.6792e-02	2.0581e-04	2.0718e-04	7.4270e-05	0:00:14
20	7.4183e-02	1.7687e-04	1.7885e-04	6.3521e-05	0:00:11
21	6.3943e-02	1.5305e-04	1.5481e-04	5.4818e-05	0:00:09
22	5.5613e-02	1.3299e-04	1.3466e-04	4.7614e-05	0:00:07
23	4.8627e-02	1.1604e-04	1.1797e-04	4.1557e-05	0:00:05
24	4.2713e-02	1.0172e-04	1.0368e-04	3.6447e-05	0:00:04
25	3.7670e-02	8.9367e-05	9.1621e-05	3.2147e-05	0:00:03
26	3.3387e-02	7.8711e-05	8.1481e-05	2.8485e-05	0:00:17
27	2.9700e-02	6.9506e-05	7.2810e-05	2.5394e-05	0:00:14
28	2.6552e-02	6.1426e-05	6.5270e-05	2.2645e-05	0:00:11
29	2.3829e-02	5.4391e-05	5.8616e-05	2.0224e-05	0:00:09
30	2.1426e-02	4.8298e-05	5.2719e-05	1.8202e-05	0:00:07
31	1.9325e-02	4.2964e-05	4.7458e-05	1.6327e-05	0:00:05
32	1.7458e-02	3.8250e-05	4.2842e-05	1.4747e-05	0:00:04
33	1.5778e-02	3.4237e-05	3.8659e-05	1.3309e-05	0:00:03
34	1.4327e-02	3.0672e-05	3.4951e-05	1.2049e-05	0:00:03
35	1.3014e-02	2.7594e-05	3.1684e-05	1.0920e-05	0:00:15
36	1.1843e-02	2.4837e-05	2.8741e-05	9.9352e-06	0:00:12
37	1.0785e-02	2.2436e-05	2.6115e-05	9.0476e-06	0:00:09
38	9.8344e-03	2.0273e-05	2.3767e-05	8.3061e-06	0:00:07
39	8.9733e-03	1.8365e-05	2.1636e-05	7.5866e-06	0:00:06

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
40	8.1823e-03	1.6631e-05	1.9694e-05	6.9945e-06	0:00:05
41	7.4602e-03	1.5051e-05	1.8007e-05	6.4592e-06	0:00:04
42	6.8059e-03	1.3671e-05	1.6455e-05	5.9886e-06	0:00:03
43	6.2270e-03	1.2432e-05	1.5025e-05	5.5453e-06	0:00:02
44	5.6825e-03	1.1296e-05	1.3728e-05	5.1624e-06	0:00:13
45	5.2019e-03	1.0270e-05	1.2585e-05	4.8429e-06	0:00:10
46	4.8022e-03	9.4807e-06	1.1640e-05	4.7043e-06	0:00:08
47	4.2728e-03	8.4431e-06	1.0453e-05	4.3173e-06	0:00:06
48	3.8727e-03	7.6754e-06	9.5386e-06	4.0664e-06	0:00:05
49	3.5059e-03	6.9944e-06	8.7245e-06	3.8429e-06	0:00:04
50	3.2486e-03	6.5252e-06	8.1319e-06	3.7521e-06	0:00:03
51	2.9834e-03	5.9840e-06	7.4437e-06	3.5182e-06	0:00:02
52	2.7768e-03	5.5302e-06	6.8906e-06	3.3373e-06	0:00:02
53	2.5624e-03	5.1205e-06	6.3641e-06	3.1843e-06	0:00:11
54	2.4580e-03	5.0398e-06	6.1840e-06	3.3357e-06	0:00:09
55	2.2691e-03	4.5544e-06	5.5878e-06	3.0377e-06	0:00:07
56	2.1478e-03	4.3709e-06	5.3241e-06	3.0394e-06	0:00:05
57	2.0182e-03	4.0902e-06	4.9660e-06	2.9252e-06	0:00:04
58	1.9103e-03	3.8848e-06	4.6372e-06	2.8262e-06	0:00:03
59	1.8236e-03	3.7684e-06	4.4790e-06	2.8809e-06	0:00:02
60	1.7018e-03	3.4690e-06	4.1054e-06	2.6805e-06	0:00:02
61	1.6852e-03	3.4553e-06	4.0795e-06	2.7867e-06	0:00:02
62	1.5700e-03	3.2252e-06	3.7799e-06	2.6323e-06	0:00:09
63	1.4772e-03	3.0357e-06	3.5302e-06	2.5223e-06	0:00:07
64	1.4176e-03	2.8438e-06	3.2702e-06	2.4014e-06	0:00:05
65	1.3702e-03	2.7749e-06	3.1588e-06	2.3933e-06	0:00:04
66	1.3926e-03	2.8786e-06	3.2370e-06	2.5656e-06	0:00:03
67	1.3560e-03	2.9261e-06	3.2004e-06	2.6251e-06	0:00:02
68	1.3176e-03	2.7438e-06	3.0140e-06	2.5143e-06	0:00:02
69	1.2730e-03	2.6151e-06	2.9063e-06	2.4639e-06	0:00:02
70	1.2102e-03	2.4522e-06	2.6979e-06	2.2605e-06	0:00:01
71	1.1716e-03	2.3643e-06	2.6080e-06	2.2316e-06	0:00:07
72	1.0690e-03	2.1143e-06	2.3083e-06	1.9527e-06	0:00:05
73	1.0851e-03	2.0834e-06	2.2512e-06	1.9641e-06	0:00:04
74	1.0323e-03	1.9574e-06	2.0994e-06	1.8252e-06	0:00:03
75	1.0568e-03	2.0031e-06	2.1218e-06	1.9036e-06	0:00:02
76	1.0828e-03	2.2034e-06	2.2753e-06	2.0928e-06	0:00:02
77	1.0732e-03	2.2225e-06	2.3211e-06	2.1527e-06	0:00:01
78	9.8306e-04	1.8970e-06	1.9853e-06	1.8193e-06	0:00:01

Penyempitan 50%

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
1	1.0000e+00	6.2160e-03	5.7767e-03	4.7201e-03	0:00:00

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
2	8.2771e-01	1.4208e-03	1.5750e-03	1.0939e-03	0:01:38
3	1.0000e+00	5.7866e-03	6.5192e-03	4.3771e-03	0:01:18
4	1.0000e+00	4.9809e-03	5.1465e-03	3.0742e-03	0:01:01
5	9.7028e-01	4.0316e-03	3.6494e-03	1.8494e-03	0:00:49
6	8.4126e-01	3.1593e-03	2.4934e-03	1.0939e-03	0:00:39
7	6.8703e-01	2.5093e-03	1.7732e-03	7.3619e-04	0:00:49
8	5.4648e-01	2.0625e-03	1.3759e-03	5.9613e-04	0:00:39
9	4.3567e-01	1.7092e-03	1.1394e-03	5.2123e-04	0:00:31
10	3.4923e-01	1.4044e-03	9.5436e-04	4.5482e-04	0:00:24
11	2.8186e-01	1.1442e-03	7.9948e-04	3.8883e-04	0:00:19
12	2.2964e-01	9.2205e-04	6.7296e-04	3.2316e-04	0:00:15
13	1.8817e-01	7.3921e-04	5.6854e-04	2.6617e-04	0:00:12
14	1.5221e-01	5.8331e-04	4.7613e-04	2.1726e-04	0:00:27
15	1.2624e-01	4.7997e-04	4.0750e-04	1.7812e-04	0:00:21
16	1.0520e-01	3.9761e-04	3.4987e-04	1.4665e-04	0:00:17
17	8.7829e-02	3.3254e-04	3.0095e-04	1.2227e-04	0:00:13
18	7.3850e-02	2.8143e-04	2.5895e-04	1.0293e-04	0:00:10
19	6.2702e-02	2.4039e-04	2.2308e-04	8.7055e-05	0:00:08
20	5.3711e-02	2.0660e-04	1.9264e-04	7.4153e-05	0:00:07
21	4.6328e-02	1.7805e-04	1.6651e-04	6.3613e-05	0:00:05
22	4.0151e-02	1.5408e-04	1.4460e-04	5.4981e-05	0:00:04
23	3.5089e-02	1.3381e-04	1.2625e-04	4.7811e-05	0:00:19
24	3.0792e-02	1.1655e-04	1.1074e-04	4.1831e-05	0:00:15
25	2.7138e-02	1.0170e-04	9.7681e-05	3.6794e-05	0:00:12
26	2.4034e-02	8.8984e-05	8.6633e-05	3.2467e-05	0:00:09
27	2.1362e-02	7.8053e-05	7.7188e-05	2.8706e-05	0:00:07
28	1.9045e-02	6.8505e-05	6.9048e-05	2.5499e-05	0:00:06
29	1.7030e-02	6.0317e-05	6.1776e-05	2.2755e-05	0:00:04
30	1.5281e-02	5.3397e-05	5.5361e-05	2.0306e-05	0:00:04
31	1.3700e-02	4.7313e-05	4.9688e-05	1.8186e-05	0:00:03
32	1.2319e-02	4.1973e-05	4.4564e-05	1.6342e-05	0:00:16
33	1.1095e-02	3.7312e-05	4.0152e-05	1.4747e-05	0:00:12
34	1.0019e-02	3.3263e-05	3.6143e-05	1.3302e-05	0:00:10
35	9.0491e-03	2.9702e-05	3.2628e-05	1.2016e-05	0:00:08
36	8.1905e-03	2.6633e-05	2.9499e-05	1.0907e-05	0:00:06
37	7.4469e-03	2.3918e-05	2.6723e-05	9.9011e-06	0:00:05
38	6.7668e-03	2.1607e-05	2.4288e-05	8.9748e-06	0:00:04
39	6.1621e-03	1.9490e-05	2.2062e-05	8.2290e-06	0:00:03
40	5.6415e-03	1.7712e-05	2.0184e-05	7.5099e-06	0:00:02
41	5.1604e-03	1.6082e-05	1.8415e-05	6.9411e-06	0:00:02
42	4.7115e-03	1.4673e-05	1.6892e-05	6.4000e-06	0:00:13
43	4.3096e-03	1.3372e-05	1.5440e-05	5.8767e-06	0:00:10
44	3.9464e-03	1.2219e-05	1.4189e-05	5.4692e-06	0:00:08

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
45	3.6202e-03	1.1177e-05	1.2994e-05	5.0947e-06	0:00:06
46	3.3201e-03	1.0266e-05	1.1920e-05	4.7267e-06	0:00:05
47	2.9944e-03	9.2167e-06	1.0813e-05	4.4188e-06	0:00:04
48	2.6978e-03	8.4122e-06	9.8594e-06	4.1374e-06	0:00:03
49	2.4796e-03	7.7680e-06	9.1389e-06	4.0005e-06	0:00:02
50	2.2833e-03	7.2009e-06	8.4423e-06	3.7824e-06	0:00:02
51	2.1060e-03	6.6781e-06	7.7845e-06	3.6057e-06	0:00:11
52	1.9624e-03	6.1773e-06	7.2270e-06	3.4585e-06	0:00:09
53	1.8288e-03	5.6953e-06	6.6984e-06	3.2468e-06	0:00:07
54	1.6987e-03	5.3566e-06	6.2687e-06	3.1949e-06	0:00:05
55	1.6017e-03	5.0640e-06	5.8824e-06	3.1390e-06	0:00:04
56	1.5030e-03	4.7597e-06	5.5017e-06	3.0269e-06	0:00:03
57	1.4097e-03	4.5015e-06	5.1476e-06	2.9368e-06	0:00:03
58	1.3289e-03	4.2359e-06	4.8091e-06	2.8414e-06	0:00:02
59	1.2725e-03	4.0611e-06	4.5974e-06	2.8502e-06	0:00:02
60	1.1911e-03	3.7819e-06	4.2332e-06	2.6694e-06	0:00:01
61	1.1524e-03	3.6566e-06	4.0695e-06	2.6533e-06	0:00:09
62	1.0987e-03	3.5364e-06	3.8687e-06	2.6306e-06	0:00:07
63	1.0410e-03	3.3591e-06	3.6142e-06	2.5165e-06	0:00:05
64	9.9002e-04	3.1218e-06	3.3656e-06	2.3865e-06	0:00:04

Penyempitan 70%

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
1	1.0000e+00	6.8350e-03	5.9925e-03	5.1169e-03	0:00:00
2	8.4246e-01	1.2768e-03	1.3868e-03	8.7408e-04	0:01:38
3	1.0000e+00	4.4128e-02	4.8816e-02	3.7675e-02	0:01:18
4	7.6740e-01	1.4605e-02	1.5449e-02	1.1867e-02	0:01:01
5	5.9686e-01	8.8762e-03	9.0130e-03	6.6769e-03	0:01:08
6	4.8530e-01	7.3902e-03	7.3457e-03	5.1797e-03	0:00:54
7	3.9566e-01	5.6677e-03	5.4592e-03	3.7101e-03	0:00:42
8	3.2172e-01	4.2260e-03	3.9122e-03	2.6177e-03	0:00:34
9	2.6057e-01	3.1757e-03	2.8041e-03	1.8606e-03	0:00:27
10	2.1061e-01	2.4142e-03	2.0387e-03	1.3456e-03	0:00:21
11	1.7221e-01	1.9444e-03	1.5494e-03	1.0290e-03	0:00:17
12	1.4013e-01	1.5663e-03	1.1967e-03	7.8277e-04	0:00:31
13	1.1217e-01	1.2830e-03	9.7168e-04	6.1324e-04	0:00:24
14	8.8520e-02	1.0614e-03	8.0711e-04	4.9084e-04	0:00:19
15	6.8770e-02	8.7798e-04	6.7691e-04	3.9445e-04	0:00:15
16	5.3243e-02	7.3318e-04	5.7087e-04	3.1960e-04	0:00:12
17	4.1476e-02	6.1397e-04	4.8325e-04	2.6129e-04	0:00:10
18	3.2836e-02	5.1672e-04	4.1237e-04	2.1379e-04	0:00:08
19	2.6533e-02	4.3845e-04	3.5413e-04	1.7606e-04	0:00:06
20	2.1959e-02	3.7476e-04	3.0536e-04	1.4635e-04	0:00:05

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
21	1.8450e-02	3.2159e-04	2.6364e-04	1.2399e-04	0:00:20
22	1.5737e-02	2.7779e-04	2.2903e-04	1.0524e-04	0:00:15
23	1.3561e-02	2.4108e-04	2.0047e-04	9.0068e-05	0:00:12
24	1.1767e-02	2.0960e-04	1.7604e-04	7.7554e-05	0:00:10
25	1.0302e-02	1.8285e-04	1.5549e-04	6.7517e-05	0:00:08
26	9.0692e-03	1.5985e-04	1.3796e-04	5.9077e-05	0:00:06
27	8.0197e-03	1.4027e-04	1.2282e-04	5.1889e-05	0:00:05
28	7.1311e-03	1.2356e-04	1.0980e-04	4.5761e-05	0:00:04
29	6.3610e-03	1.0919e-04	9.8217e-05	4.0522e-05	0:00:17
30	5.6925e-03	9.6688e-05	8.7894e-05	3.6071e-05	0:00:14
31	5.1103e-03	8.5928e-05	7.8695e-05	3.2213e-05	0:00:11
32	4.5934e-03	7.6604e-05	7.0610e-05	2.8885e-05	0:00:08
33	4.1302e-03	6.8416e-05	6.3480e-05	2.6020e-05	0:00:07
34	3.7258e-03	6.1223e-05	5.7192e-05	2.3464e-05	0:00:05
35	3.3649e-03	5.4856e-05	5.1599e-05	2.1235e-05	0:00:04
36	3.0419e-03	4.9242e-05	4.6606e-05	1.9250e-05	0:00:03
37	2.7605e-03	4.4271e-05	4.2231e-05	1.7422e-05	0:00:03
38	2.5031e-03	3.9826e-05	3.8307e-05	1.5805e-05	0:00:14
39	2.2702e-03	3.5969e-05	3.4791e-05	1.4407e-05	0:00:11
40	2.0674e-03	3.2621e-05	3.1662e-05	1.3198e-05	0:00:09
41	1.8862e-03	2.9569e-05	2.8909e-05	1.2014e-05	0:00:07
42	1.7217e-03	2.6838e-05	2.6421e-05	1.0966e-05	0:00:06
43	1.5775e-03	2.4395e-05	2.4233e-05	1.0041e-05	0:00:04
44	1.4461e-03	2.2258e-05	2.2197e-05	9.1398e-06	0:00:03
45	1.3287e-03	2.0328e-05	2.0439e-05	8.4476e-06	0:00:03
46	1.2207e-03	1.8585e-05	1.8793e-05	7.7788e-06	0:00:02
47	1.1217e-03	1.7054e-05	1.7290e-05	7.1919e-06	0:00:12
48	1.0372e-03	1.5666e-05	1.5922e-05	6.6493e-06	0:00:10
49	9.6045e-04	1.4568e-05	1.4746e-05	6.2847e-06	0:00:08

2. Kecepatan Awal 0,32 m/s

Penyempitan 30%

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
1	1.0000e+00	5.7721e-03	5.4306e-03	4.3946e-03	0:00:00
2	8.5761e-01	1.5258e-03	1.4071e-03	1.0313e-03	0:01:38
3	9.2354e-01	3.0877e-03	3.0012e-03	1.7061e-03	0:01:18
4	1.0000e+00	3.1602e-03	2.7865e-03	1.2535e-03	0:01:01
5	1.0000e+00	2.9176e-03	2.3118e-03	8.4694e-04	0:00:49
6	9.1473e-01	2.5514e-03	1.8380e-03	6.0761e-04	0:00:39
7	7.8677e-01	2.1844e-03	1.4744e-03	4.8687e-04	0:00:30
8	6.6823e-01	1.8400e-03	1.2142e-03	4.2732e-04	0:00:24
9	5.7250e-01	1.5354e-03	1.0091e-03	3.8299e-04	0:00:19
10	4.9307e-01	1.2681e-03	8.4921e-04	3.4171e-04	0:00:15

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
11	4.2303e-01	1.0413e-03	7.2542e-04	2.9926e-04	0:00:30
12	3.5985e-01	8.4856e-04	6.2203e-04	2.5800e-04	0:00:24
13	3.0379e-01	6.8906e-04	5.3772e-04	2.1877e-04	0:00:19
14	2.5556e-01	5.6145e-04	4.6620e-04	1.8396e-04	0:00:15
15	2.1474e-01	4.6089e-04	4.0517e-04	1.5422e-04	0:00:12
16	1.8091e-01	3.8232e-04	3.5194e-04	1.2905e-04	0:00:09
17	1.5333e-01	3.2003e-04	3.0633e-04	1.0857e-04	0:00:07
18	1.3071e-01	2.7152e-04	2.6695e-04	9.2458e-05	0:00:06
19	1.1198e-01	2.3278e-04	2.3218e-04	7.9430e-05	0:00:05
20	9.6693e-02	2.0115e-04	2.0214e-04	6.8763e-05	0:00:04
21	8.4140e-02	1.7515e-04	1.7642e-04	6.0008e-05	0:00:19
22	7.3665e-02	1.5324e-04	1.5449e-04	5.2691e-05	0:00:15
23	6.4807e-02	1.3469e-04	1.3616e-04	4.6537e-05	0:00:12
24	5.7195e-02	1.1886e-04	1.2045e-04	4.1248e-05	0:00:09
25	5.0749e-02	1.0505e-04	1.0724e-04	3.6785e-05	0:00:07
26	4.5278e-02	9.3198e-05	9.6069e-05	3.2908e-05	0:00:06
27	4.0631e-02	8.2944e-05	8.6573e-05	2.9557e-05	0:00:05
28	3.6668e-02	7.3938e-05	7.8287e-05	2.6692e-05	0:00:04
29	3.3199e-02	6.6027e-05	7.0938e-05	2.4024e-05	0:00:03
30	3.0090e-02	5.9108e-05	6.4289e-05	2.1751e-05	0:00:16
31	2.7336e-02	5.3072e-05	5.8354e-05	1.9689e-05	0:00:13
32	2.4930e-02	4.7877e-05	5.3069e-05	1.7843e-05	0:00:10
33	2.2780e-02	4.3319e-05	4.8413e-05	1.6143e-05	0:00:08
34	2.0857e-02	3.9335e-05	4.4183e-05	1.4694e-05	0:00:06
35	1.9159e-02	3.5799e-05	4.0426e-05	1.3370e-05	0:00:05
36	1.7596e-02	3.2565e-05	3.7029e-05	1.2242e-05	0:00:04
37	1.6176e-02	2.9726e-05	3.4039e-05	1.1249e-05	0:00:03
38	1.4877e-02	2.7134e-05	3.1291e-05	1.0265e-05	0:00:02
39	1.3708e-02	2.4799e-05	2.8855e-05	9.4995e-06	0:00:02
40	1.2603e-02	2.2684e-05	2.6518e-05	8.7072e-06	0:00:13
41	1.1608e-02	2.0725e-05	2.4399e-05	8.0332e-06	0:00:11
42	1.0647e-02	1.8891e-05	2.2413e-05	7.3931e-06	0:00:08
43	9.7739e-03	1.7265e-05	2.0568e-05	6.8478e-06	0:00:07
44	8.9666e-03	1.5726e-05	1.8893e-05	6.2854e-06	0:00:05
45	8.2308e-03	1.4361e-05	1.7322e-05	5.8526e-06	0:00:04
46	7.5661e-03	1.3030e-05	1.5878e-05	5.4217e-06	0:00:03
47	6.9319e-03	1.1871e-05	1.4567e-05	5.0700e-06	0:00:02
48	6.3160e-03	1.0809e-05	1.3325e-05	4.7267e-06	0:00:12
49	5.7905e-03	9.8353e-06	1.2198e-05	4.3897e-06	0:00:10
50	5.2841e-03	8.9354e-06	1.1196e-05	4.1068e-06	0:00:08
51	4.8248e-03	8.0811e-06	1.0191e-05	3.7983e-06	0:00:06
52	4.3292e-03	7.1988e-06	9.2113e-06	3.5530e-06	0:00:05
53	3.9081e-03	6.6016e-06	8.4499e-06	3.4496e-06	0:00:04

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
54	3.5300e-03	5.9691e-06	7.6980e-06	3.2109e-06	0:00:03
55	3.2337e-03	5.4977e-06	7.0449e-06	3.0222e-06	0:00:02
56	2.9602e-03	5.0444e-06	6.5079e-06	2.8730e-06	0:00:02
57	2.7644e-03	4.7152e-06	6.0902e-06	2.8102e-06	0:00:10
58	2.5347e-03	4.3266e-06	5.5632e-06	2.6335e-06	0:00:08
59	2.3410e-03	4.0025e-06	5.0969e-06	2.4978e-06	0:00:06
60	2.2467e-03	3.8613e-06	4.8716e-06	2.5325e-06	0:00:05
61	2.0668e-03	3.5422e-06	4.4319e-06	2.3355e-06	0:00:04
62	1.9605e-03	3.3989e-06	4.2189e-06	2.3857e-06	0:00:03
63	1.8243e-03	3.0948e-06	3.8277e-06	2.1813e-06	0:00:02
64	1.7597e-03	3.0393e-06	3.7179e-06	2.2621e-06	0:00:02
65	1.6297e-03	2.7717e-06	3.3947e-06	2.1229e-06	0:00:01
66	1.5509e-03	2.6797e-06	3.2192e-06	2.1212e-06	0:00:01
67	1.5039e-03	2.6150e-06	3.1403e-06	2.1337e-06	0:00:07
68	1.3960e-03	2.3866e-06	2.8490e-06	1.9706e-06	0:00:06
69	1.3398e-03	2.2468e-06	2.6372e-06	1.9107e-06	0:00:04
70	1.2970e-03	2.2150e-06	2.5792e-06	1.9225e-06	0:00:03
71	1.2985e-03	2.2594e-06	2.5753e-06	2.0347e-06	0:00:03
72	1.2434e-03	2.1380e-06	2.4188e-06	1.9539e-06	0:00:02
73	1.2006e-03	2.0637e-06	2.3095e-06	1.9119e-06	0:00:02
74	1.1602e-03	2.0067e-06	2.2186e-06	1.8721e-06	0:00:01
75	1.1267e-03	1.9577e-06	2.1331e-06	1.8308e-06	0:00:01
76	1.1234e-03	1.9576e-06	2.1282e-06	1.8890e-06	0:00:01
77	1.0522e-03	1.8360e-06	2.0072e-06	1.7775e-06	0:00:05
78	1.0677e-03	1.8578e-06	1.9896e-06	1.8108e-06	0:00:04
79	9.5990e-04	1.6388e-06	1.7597e-06	1.6155e-06	0:00:03

Penyempitan 50%

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
1	1.0000e+00	6.0259e-03	5.5996e-03	4.5907e-03	0:00:00
2	8.0583e-01	1.4784e-03	1.5771e-03	1.1228e-03	0:01:38
3	1.0000e+00	4.6075e-03	4.9664e-03	3.2461e-03	0:01:18
4	1.0000e+00	4.0807e-03	3.9960e-03	2.2570e-03	0:01:01
5	9.7858e-01	3.4904e-03	2.9711e-03	1.3737e-03	0:00:49
6	8.6390e-01	2.8907e-03	2.1555e-03	8.5446e-04	0:00:39
7	7.1802e-01	2.3994e-03	1.6195e-03	6.1501e-04	0:00:30
8	5.8365e-01	2.0128e-03	1.3074e-03	5.2000e-04	0:00:24
9	4.7495e-01	1.6872e-03	1.0966e-03	4.6184e-04	0:00:37
10	3.9076e-01	1.4046e-03	9.2285e-04	4.0537e-04	0:00:29
11	3.2512e-01	1.1597e-03	7.7990e-04	3.4945e-04	0:00:23
12	2.7208e-01	9.4707e-04	6.6628e-04	2.9689e-04	0:00:18
13	2.2890e-01	7.6940e-04	5.7015e-04	2.4980e-04	0:00:15
14	1.9284e-01	6.2753e-04	4.9001e-04	2.0890e-04	0:00:12

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
15	1.6264e-01	5.1575e-04	4.2353e-04	1.7435e-04	0:00:09
16	1.3703e-01	4.2828e-04	3.6677e-04	1.4608e-04	0:00:07
17	1.1565e-01	3.5966e-04	3.1803e-04	1.2343e-04	0:00:22
18	9.8104e-02	3.0540e-04	2.7667e-04	1.0513e-04	0:00:18
19	8.4016e-02	2.6166e-04	2.4136e-04	9.0072e-05	0:00:14
20	7.2674e-02	2.2617e-04	2.1073e-04	7.7843e-05	0:00:11
21	6.3300e-02	1.9656e-04	1.8359e-04	6.7581e-05	0:00:09
22	5.5377e-02	1.7163e-04	1.6056e-04	5.9081e-05	0:00:07
23	4.8601e-02	1.5027e-04	1.4106e-04	5.1956e-05	0:00:05
24	4.2886e-02	1.3197e-04	1.2486e-04	4.5877e-05	0:00:04
25	3.8149e-02	1.1637e-04	1.1129e-04	4.0631e-05	0:00:03
26	3.4115e-02	1.0282e-04	9.9655e-05	3.6027e-05	0:00:17
27	3.0666e-02	9.1097e-05	8.9668e-05	3.2072e-05	0:00:14
28	2.7676e-02	8.1084e-05	8.0905e-05	2.8783e-05	0:00:11
29	2.4969e-02	7.2377e-05	7.3164e-05	2.5882e-05	0:00:09
30	2.2568e-02	6.4757e-05	6.6261e-05	2.3365e-05	0:00:07
31	2.0404e-02	5.7949e-05	6.0036e-05	2.1114e-05	0:00:05
32	1.8543e-02	5.2021e-05	5.4500e-05	1.9121e-05	0:00:04
33	1.6900e-02	4.6806e-05	4.9610e-05	1.7382e-05	0:00:03
34	1.5442e-02	4.2209e-05	4.5195e-05	1.5826e-05	0:00:03
35	1.4154e-02	3.8172e-05	4.1271e-05	1.4440e-05	0:00:15
36	1.2971e-02	3.4533e-05	3.7738e-05	1.3182e-05	0:00:12
37	1.1928e-02	3.1406e-05	3.4545e-05	1.2045e-05	0:00:09
38	1.0959e-02	2.8603e-05	3.1757e-05	1.1062e-05	0:00:07
39	1.0079e-02	2.6155e-05	2.9193e-05	1.0134e-05	0:00:06
40	9.2717e-03	2.3954e-05	2.6886e-05	9.3049e-06	0:00:05
41	8.5114e-03	2.1937e-05	2.4715e-05	8.6048e-06	0:00:04
42	7.8354e-03	2.0131e-05	2.2809e-05	7.9594e-06	0:00:03
43	7.1810e-03	1.8474e-05	2.1016e-05	7.3291e-06	0:00:02
44	6.6094e-03	1.6879e-05	1.9374e-05	6.7920e-06	0:00:02
45	6.0884e-03	1.5435e-05	1.7794e-05	6.3025e-06	0:00:12
46	5.6189e-03	1.4188e-05	1.6427e-05	5.8563e-06	0:00:10
47	5.1933e-03	1.3002e-05	1.5115e-05	5.4874e-06	0:00:08
48	4.7911e-03	1.1921e-05	1.3925e-05	5.1121e-06	0:00:06
49	4.4008e-03	1.0907e-05	1.2784e-05	4.7679e-06	0:00:05
50	4.0458e-03	9.9712e-06	1.1791e-05	4.4858e-06	0:00:04
51	3.7233e-03	9.0943e-06	1.0778e-05	4.1468e-06	0:00:03
52	3.4014e-03	8.3092e-06	9.8942e-06	3.8838e-06	0:00:02
53	3.0612e-03	7.4605e-06	8.9645e-06	3.6114e-06	0:00:02
54	2.7770e-03	6.8265e-06	8.2068e-06	3.4112e-06	0:00:11
55	2.5252e-03	6.2487e-06	7.4746e-06	3.1924e-06	0:00:08
56	2.3242e-03	5.7599e-06	6.8527e-06	3.0233e-06	0:00:06
57	2.1412e-03	5.3104e-06	6.3133e-06	2.8505e-06	0:00:05

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
58	1.9921e-03	4.9525e-06	5.8941e-06	2.7901e-06	0:00:04
59	1.8583e-03	4.5959e-06	5.4794e-06	2.6673e-06	0:00:03
60	1.7453e-03	4.2591e-06	5.0849e-06	2.5375e-06	0:00:02
61	1.6261e-03	3.9744e-06	4.7241e-06	2.4503e-06	0:00:02
62	1.5327e-03	3.7392e-06	4.4199e-06	2.3797e-06	0:00:01
63	1.4318e-03	3.4833e-06	4.1129e-06	2.2958e-06	0:00:01
64	1.3696e-03	3.3423e-06	3.8973e-06	2.2693e-06	0:00:08
65	1.2768e-03	3.1279e-06	3.6006e-06	2.1651e-06	0:00:06
66	1.2051e-03	2.9430e-06	3.3610e-06	2.0466e-06	0:00:05
67	1.1559e-03	2.8664e-06	3.2403e-06	2.1055e-06	0:00:04
68	1.1026e-03	2.7448e-06	3.0361e-06	2.0374e-06	0:00:03
69	1.0325e-03	2.5448e-06	2.7936e-06	1.8836e-06	0:00:02
70	9.8994e-04	2.4220e-06	2.6333e-06	1.8624e-06	0:00:02

Penyempitan 70%

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
1	1.0000e+00	6.6555e-03	5.8099e-03	4.9846e-03	0:00:00
2	8.1539e-01	1.2351e-03	1.3382e-03	8.6651e-04	0:01:38
3	1.0000e+00	3.6197e-02	4.0454e-02	3.1152e-02	0:01:18
4	7.4251e-01	1.2591e-02	1.2963e-02	9.8367e-03	0:01:01
5	5.8683e-01	7.7794e-03	7.6560e-03	5.4936e-03	0:00:49
6	4.8147e-01	6.3943e-03	6.1625e-03	4.1598e-03	0:00:39
7	3.9270e-01	4.8541e-03	4.4258e-03	2.8669e-03	0:00:30
8	3.1830e-01	3.6472e-03	3.1633e-03	1.9718e-03	0:00:24
9	2.5610e-01	2.8262e-03	2.3219e-03	1.4456e-03	0:00:19
10	2.0683e-01	2.2509e-03	1.7279e-03	1.0845e-03	0:00:33
11	1.6690e-01	1.8271e-03	1.3381e-03	8.3385e-04	0:00:26
12	1.3337e-01	1.5119e-03	1.0887e-03	6.6229e-04	0:00:21
13	1.0576e-01	1.2668e-03	9.1303e-04	5.3821e-04	0:00:16
14	8.2968e-02	1.0623e-03	7.7791e-04	4.3956e-04	0:00:13
15	6.4965e-02	8.8723e-04	6.6319e-04	3.6111e-04	0:00:10
16	5.1313e-02	7.4423e-04	5.6334e-04	2.9870e-04	0:00:08
17	4.1025e-02	6.2779e-04	4.8162e-04	2.4726e-04	0:00:23
18	3.3374e-02	5.3432e-04	4.1593e-04	2.0600e-04	0:00:18
19	2.7711e-02	4.5874e-04	3.5971e-04	1.7255e-04	0:00:14
20	2.3456e-02	3.9645e-04	3.1271e-04	1.4612e-04	0:00:11
21	2.0160e-02	3.4570e-04	2.7395e-04	1.2486e-04	0:00:09
22	1.7533e-02	3.0372e-04	2.4072e-04	1.0798e-04	0:00:07
23	1.5380e-02	2.6756e-04	2.1269e-04	9.4354e-05	0:00:06
24	1.3553e-02	2.3578e-04	1.8897e-04	8.3216e-05	0:00:20
25	1.2033e-02	2.0851e-04	1.6881e-04	7.4080e-05	0:00:15
26	1.0796e-02	1.8514e-04	1.5155e-04	6.6261e-05	0:00:12
27	9.7290e-03	1.6515e-04	1.3674e-04	5.9732e-05	0:00:10

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
28	8.8049e-03	1.4794e-04	1.2388e-04	5.4047e-05	0:00:08
29	7.9856e-03	1.3275e-04	1.1268e-04	4.8864e-05	0:00:06
30	7.2505e-03	1.1930e-04	1.0264e-04	4.4353e-05	0:00:05
31	6.5869e-03	1.0740e-04	9.3595e-05	4.0218e-05	0:00:04
32	6.0109e-03	9.6988e-05	8.5604e-05	3.6476e-05	0:00:03
33	5.4843e-03	8.7750e-05	7.8342e-05	3.3069e-05	0:00:16
34	5.0120e-03	7.9280e-05	7.1730e-05	2.9941e-05	0:00:12
35	4.5862e-03	7.1585e-05	6.5644e-05	2.7230e-05	0:00:10
36	4.2048e-03	6.4816e-05	6.0097e-05	2.4748e-05	0:00:08
37	3.8547e-03	5.8796e-05	5.5030e-05	2.2547e-05	0:00:06
38	3.5390e-03	5.3431e-05	5.0463e-05	2.0592e-05	0:00:05
39	3.2576e-03	4.8710e-05	4.6357e-05	1.8773e-05	0:00:04
40	3.0030e-03	4.4377e-05	4.2619e-05	1.7080e-05	0:00:03
41	2.7675e-03	4.0562e-05	3.9256e-05	1.5624e-05	0:00:14
42	2.5495e-03	3.7098e-05	3.6203e-05	1.4265e-05	0:00:11
43	2.3582e-03	3.4045e-05	3.3466e-05	1.3031e-05	0:00:09
44	2.1823e-03	3.1233e-05	3.0983e-05	1.1999e-05	0:00:07
45	2.0201e-03	2.8708e-05	2.8648e-05	1.1048e-05	0:00:05
46	1.8708e-03	2.6414e-05	2.6520e-05	1.0176e-05	0:00:04
47	1.7297e-03	2.4334e-05	2.4544e-05	9.4035e-06	0:00:03
48	1.6006e-03	2.2436e-05	2.2712e-05	8.6927e-06	0:00:03
49	1.4821e-03	2.0677e-05	2.1021e-05	8.0726e-06	0:00:02
50	1.3699e-03	1.9080e-05	1.9531e-05	7.4978e-06	0:00:12
51	1.2671e-03	1.7604e-05	1.8095e-05	6.9729e-06	0:00:09
52	1.1715e-03	1.6307e-05	1.6735e-05	6.5465e-06	0:00:07
53	1.0837e-03	1.5140e-05	1.5506e-05	6.1124e-06	0:00:06
54	9.9951e-04	1.4047e-05	1.4294e-05	5.6788e-06	0:00:04

3. Kecepatan Awal 0,37 m/s

Penyempitan 30%

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
1	1.0000e+00	5.8397e-03	5.5197e-03	4.6322e-03	0:00:00
2	7.2504e-01	1.7055e-03	1.5861e-03	1.2189e-03	0:00:00
3	6.6494e-01	2.8492e-03	2.6640e-03	1.5370e-03	0:01:37
4	7.2862e-01	2.9007e-03	2.4637e-03	1.1036e-03	0:01:17
5	7.3673e-01	2.7302e-03	2.0913e-03	7.4429e-04	0:01:01
6	6.8416e-01	2.4463e-03	1.7168e-03	5.4749e-04	0:00:48
7	5.9556e-01	2.1290e-03	1.4164e-03	4.5309e-04	0:00:38
8	5.0961e-01	1.8192e-03	1.1860e-03	4.0007e-04	0:00:30
9	4.3906e-01	1.5363e-03	9.9784e-04	3.5990e-04	0:00:24
10	3.8171e-01	1.2849e-03	8.4745e-04	3.2369e-04	0:00:37
11	3.3186e-01	1.0662e-03	7.2871e-04	2.8704e-04	0:00:29
12	2.8767e-01	8.8053e-04	6.3258e-04	2.5071e-04	0:00:23

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
13	2.4731e-01	7.2532e-04	5.5286e-04	2.1640e-04	0:00:18
14	2.1188e-01	5.9819e-04	4.8555e-04	1.8533e-04	0:00:14
15	1.8102e-01	4.9672e-04	4.2713e-04	1.5757e-04	0:00:11
16	1.5474e-01	4.1589e-04	3.7570e-04	1.3381e-04	0:00:09
17	1.3292e-01	3.5114e-04	3.3023e-04	1.1358e-04	0:00:07
18	1.1462e-01	2.9931e-04	2.9045e-04	9.7397e-05	0:00:06
19	9.9126e-02	2.5771e-04	2.5495e-04	8.4631e-05	0:00:04
20	8.6370e-02	2.2389e-04	2.2404e-04	7.3974e-05	0:00:20
21	7.5672e-02	1.9558e-04	1.9694e-04	6.5151e-05	0:00:15
22	6.6512e-02	1.7185e-04	1.7328e-04	5.7675e-05	0:00:12
23	5.8747e-02	1.5151e-04	1.5340e-04	5.1196e-05	0:00:10
24	5.2109e-02	1.3417e-04	1.3660e-04	4.5582e-05	0:00:08
25	4.6503e-02	1.1940e-04	1.2224e-04	4.0797e-05	0:00:06
26	4.1684e-02	1.0680e-04	1.0979e-04	3.6825e-05	0:00:05
27	3.7489e-02	9.5765e-05	9.9128e-05	3.3317e-05	0:00:04
28	3.3929e-02	8.5980e-05	8.9923e-05	3.0156e-05	0:00:03
29	3.0838e-02	7.7431e-05	8.1794e-05	2.7333e-05	0:00:17
30	2.8190e-02	6.9991e-05	7.4546e-05	2.4824e-05	0:00:13
31	2.5873e-02	6.3508e-05	6.8140e-05	2.2586e-05	0:00:10
32	2.3790e-02	5.7798e-05	6.2474e-05	2.0641e-05	0:00:08
33	2.1946e-02	5.2754e-05	5.7430e-05	1.8838e-05	0:00:06
34	2.0304e-02	4.8269e-05	5.2897e-05	1.7247e-05	0:00:05
35	1.8807e-02	4.4166e-05	4.8871e-05	1.5803e-05	0:00:04
36	1.7433e-02	4.0450e-05	4.5224e-05	1.4505e-05	0:00:03
37	1.6160e-02	3.7094e-05	4.1867e-05	1.3330e-05	0:00:02
38	1.4975e-02	3.4105e-05	3.8804e-05	1.2303e-05	0:00:14
39	1.3856e-02	3.1343e-05	3.5987e-05	1.1347e-05	0:00:11
40	1.2817e-02	2.8750e-05	3.3302e-05	1.0444e-05	0:00:09
41	1.1816e-02	2.6316e-05	3.0747e-05	9.6192e-06	0:00:07
42	1.0885e-02	2.4068e-05	2.8376e-05	8.8496e-06	0:00:05
43	1.0027e-02	2.2041e-05	2.6175e-05	8.1449e-06	0:00:04
44	9.2157e-03	2.0138e-05	2.4136e-05	7.4797e-06	0:00:03
45	8.4625e-03	1.8378e-05	2.2225e-05	6.9076e-06	0:00:03
46	7.7586e-03	1.6750e-05	2.0418e-05	6.3516e-06	0:00:02
47	7.1140e-03	1.5252e-05	1.8783e-05	5.8784e-06	0:00:12
48	6.5024e-03	1.3840e-05	1.7215e-05	5.3853e-06	0:00:10
49	5.9624e-03	1.2565e-05	1.5788e-05	4.9936e-06	0:00:08
50	5.4604e-03	1.1410e-05	1.4479e-05	4.6412e-06	0:00:06
51	4.9761e-03	1.0335e-05	1.3271e-05	4.3185e-06	0:00:05
52	4.5464e-03	9.3966e-06	1.2117e-05	3.9877e-06	0:00:04
53	4.1491e-03	8.5249e-06	1.1076e-05	3.6976e-06	0:00:03
54	3.8036e-03	7.7387e-06	1.0204e-05	3.5284e-06	0:00:02
55	3.3785e-03	6.8636e-06	9.1610e-06	3.2048e-06	0:00:02

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
56	3.0469e-03	6.2082e-06	8.3183e-06	2.9971e-06	0:00:10
57	2.7740e-03	5.6594e-06	7.6083e-06	2.8422e-06	0:00:08
58	2.5258e-03	5.1740e-06	6.9658e-06	2.6581e-06	0:00:06
59	2.3198e-03	4.7749e-06	6.3856e-06	2.5278e-06	0:00:05
60	2.1378e-03	4.3722e-06	5.8497e-06	2.3697e-06	0:00:04
61	1.9714e-03	4.0672e-06	5.4167e-06	2.2776e-06	0:00:03
62	1.8353e-03	3.7671e-06	5.0226e-06	2.1908e-06	0:00:02
63	1.6918e-03	3.4637e-06	4.5826e-06	2.0624e-06	0:00:02
64	1.5732e-03	3.2040e-06	4.2249e-06	1.9673e-06	0:00:09
65	1.4762e-03	3.0731e-06	3.9778e-06	1.9790e-06	0:00:07
66	1.3709e-03	2.8187e-06	3.6270e-06	1.8289e-06	0:00:05
67	1.2934e-03	2.7037e-06	3.4375e-06	1.8513e-06	0:00:04
68	1.2157e-03	2.4949e-06	3.1607e-06	1.7441e-06	0:00:03
69	1.1481e-03	2.3820e-06	2.9642e-06	1.7338e-06	0:00:02
70	1.0692e-03	2.1941e-06	2.7204e-06	1.6320e-06	0:00:02
71	1.0411e-03	2.1862e-06	2.6523e-06	1.6863e-06	0:00:01
72	9.8392e-04	2.0362e-06	2.4398e-06	1.6121e-06	0:00:01

Penyempitan 50%

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
1	1.0000e+00	5.8619e-03	5.4461e-03	4.4800e-03	0:00:00
2	7.8725e-01	1.5480e-03	1.5938e-03	1.1569e-03	0:01:38
3	9.7767e-01	3.8271e-03	3.9663e-03	2.5210e-03	0:01:18
4	1.0000e+00	3.4935e-03	3.2655e-03	1.7557e-03	0:01:01
5	9.8938e-01	3.1320e-03	2.5322e-03	1.0874e-03	0:00:49
6	8.9206e-01	2.7063e-03	1.9336e-03	7.1151e-04	0:00:39
7	7.5537e-01	2.3139e-03	1.5201e-03	5.4218e-04	0:00:30
8	6.2648e-01	1.9675e-03	1.2560e-03	4.7005e-04	0:00:24
9	5.2053e-01	1.6639e-03	1.0594e-03	4.1992e-04	0:00:19
10	4.3783e-01	1.4015e-03	8.9888e-04	3.7032e-04	0:00:33
11	3.7165e-01	1.1682e-03	7.6724e-04	3.2374e-04	0:00:26
12	3.1770e-01	9.6659e-04	6.6014e-04	2.8020e-04	0:00:21
13	2.7278e-01	7.9882e-04	5.7261e-04	2.4010e-04	0:00:16
14	2.3402e-01	6.6128e-04	4.9991e-04	2.0424e-04	0:00:13
15	2.0070e-01	5.5040e-04	4.3791e-04	1.7365e-04	0:00:10
16	1.7199e-01	4.6064e-04	3.8420e-04	1.4752e-04	0:00:08
17	1.4748e-01	3.8920e-04	3.3852e-04	1.2579e-04	0:00:06
18	1.2676e-01	3.3253e-04	2.9851e-04	1.0833e-04	0:00:21
19	1.0957e-01	2.8715e-04	2.6329e-04	9.4264e-05	0:00:17
20	9.5444e-02	2.4962e-04	2.3154e-04	8.2472e-05	0:00:13
21	8.3602e-02	2.1805e-04	2.0333e-04	7.2387e-05	0:00:11
22	7.3598e-02	1.9110e-04	1.7876e-04	6.3757e-05	0:00:08
23	6.5197e-02	1.6818e-04	1.5807e-04	5.6511e-05	0:00:07

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
24	5.7931e-02	1.4861e-04	1.4057e-04	5.0274e-05	0:00:05
25	5.1818e-02	1.3183e-04	1.2577e-04	4.4831e-05	0:00:04
26	4.6595e-02	1.1740e-04	1.1311e-04	4.0107e-05	0:00:03
27	4.2130e-02	1.0499e-04	1.0236e-04	3.6146e-05	0:00:17
28	3.8251e-02	9.4270e-05	9.3015e-05	3.2693e-05	0:00:14
29	3.4790e-02	8.4849e-05	8.4614e-05	2.9634e-05	0:00:11
30	3.1678e-02	7.6271e-05	7.7210e-05	2.6861e-05	0:00:08
31	2.8875e-02	6.8747e-05	7.0555e-05	2.4438e-05	0:00:07
32	2.6456e-02	6.2129e-05	6.4592e-05	2.2295e-05	0:00:05
33	2.4293e-02	5.6348e-05	5.9214e-05	2.0359e-05	0:00:04
34	2.2369e-02	5.1251e-05	5.4422e-05	1.8661e-05	0:00:03
35	2.0643e-02	4.6791e-05	5.0197e-05	1.7104e-05	0:00:03
36	1.9090e-02	4.2911e-05	4.6400e-05	1.5706e-05	0:00:02
37	1.7676e-02	3.9385e-05	4.2937e-05	1.4427e-05	0:00:14
38	1.6359e-02	3.6230e-05	3.9837e-05	1.3289e-05	0:00:11
39	1.5151e-02	3.3339e-05	3.6971e-05	1.2256e-05	0:00:09
40	1.4056e-02	3.0744e-05	3.4338e-05	1.1316e-05	0:00:07
41	1.3034e-02	2.8325e-05	3.1893e-05	1.0439e-05	0:00:05
42	1.2099e-02	2.6079e-05	2.9569e-05	9.6286e-06	0:00:04
43	1.1227e-02	2.4060e-05	2.7423e-05	8.8922e-06	0:00:03
44	1.0412e-02	2.2188e-05	2.5388e-05	8.2539e-06	0:00:03
45	9.6434e-03	2.0432e-05	2.3495e-05	7.6682e-06	0:00:02
46	8.8973e-03	1.8816e-05	2.1706e-05	7.1318e-06	0:00:12
47	8.2197e-03	1.7298e-05	2.0048e-05	6.6022e-06	0:00:10
48	7.5918e-03	1.5908e-05	1.8501e-05	6.1276e-06	0:00:08
49	7.0207e-03	1.4628e-05	1.7086e-05	5.7000e-06	0:00:06
50	6.4676e-03	1.3435e-05	1.5794e-05	5.3087e-06	0:00:05
51	5.9647e-03	1.2340e-05	1.4573e-05	4.9247e-06	0:00:04
52	5.4854e-03	1.1384e-05	1.3421e-05	4.5944e-06	0:00:03
53	5.0601e-03	1.0487e-05	1.2381e-05	4.2959e-06	0:00:02
54	4.6576e-03	9.6493e-06	1.1381e-05	3.9940e-06	0:00:02
55	4.2885e-03	8.8804e-06	1.0472e-05	3.7563e-06	0:00:01
56	3.9534e-03	8.1677e-06	9.6276e-06	3.5258e-06	0:00:10
57	3.6567e-03	7.5418e-06	8.8391e-06	3.3163e-06	0:00:08
58	3.3832e-03	6.9573e-06	8.1364e-06	3.1570e-06	0:00:06
59	3.1168e-03	6.4460e-06	7.4456e-06	2.9967e-06	0:00:05
60	2.8930e-03	5.9668e-06	6.8241e-06	2.8571e-06	0:00:04
61	2.6798e-03	5.5499e-06	6.2788e-06	2.7179e-06	0:00:03
62	2.4883e-03	5.1479e-06	5.7664e-06	2.5785e-06	0:00:02
63	2.3166e-03	4.8424e-06	5.3178e-06	2.4952e-06	0:00:02
64	2.1603e-03	4.5697e-06	4.9392e-06	2.4178e-06	0:00:01
65	1.9837e-03	4.1957e-06	4.5072e-06	2.3017e-06	0:00:08
66	1.8376e-03	3.9387e-06	4.1414e-06	2.2127e-06	0:00:06

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
67	1.7163e-03	3.7431e-06	3.8688e-06	2.1487e-06	0:00:05
68	1.6042e-03	3.5158e-06	3.5838e-06	2.0453e-06	0:00:04
69	1.5021e-03	3.3727e-06	3.3601e-06	2.0073e-06	0:00:03
70	1.4212e-03	3.2017e-06	3.1542e-06	1.9477e-06	0:00:02
71	1.3483e-03	3.0270e-06	2.9123e-06	1.8658e-06	0:00:02
72	1.2706e-03	2.8793e-06	2.7459e-06	1.8350e-06	0:00:01
73	1.2231e-03	2.7761e-06	2.6205e-06	1.8020e-06	0:00:01
74	1.1658e-03	2.6278e-06	2.4763e-06	1.7443e-06	0:00:01
75	1.1178e-03	2.5206e-06	2.3194e-06	1.7206e-06	0:00:06
76	1.0722e-03	2.4149e-06	2.2249e-06	1.6775e-06	0:00:04
77	1.0315e-03	2.3180e-06	2.1369e-06	1.6415e-06	0:00:03
78	9.9636e-04	2.2213e-06	2.0515e-06	1.6139e-06	0:00:03

Penyempitan 70%

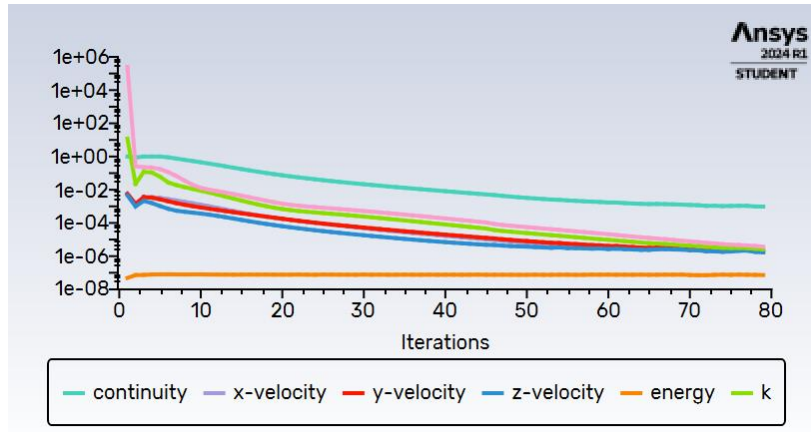
iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
1	1.0000e+00	6.5058e-03	5.6573e-03	4.9141e-03	0:00:00
2	7.8567e-01	1.2250e-03	1.2949e-03	8.7065e-04	0:01:38
3	1.0000e+00	2.3825e-02	2.6498e-02	2.0331e-02	0:01:18
4	9.1044e-01	1.1606e-02	1.2336e-02	9.3422e-03	0:01:01
5	7.6188e-01	7.0863e-03	6.9350e-03	4.9041e-03	0:01:08
6	6.3162e-01	5.1340e-03	4.6708e-03	3.0343e-03	0:00:54
7	5.1509e-01	3.9380e-03	3.3610e-03	2.0538e-03	0:00:42
8	4.1634e-01	3.1169e-03	2.5278e-03	1.5224e-03	0:00:34
9	3.3645e-01	2.4916e-03	1.8807e-03	1.1351e-03	0:00:27
10	2.7229e-01	2.0225e-03	1.4395e-03	8.6485e-04	0:00:21
11	2.2036e-01	1.6778e-03	1.1493e-03	6.7948e-04	0:00:17
12	1.7680e-01	1.4158e-03	9.5744e-04	5.4972e-04	0:00:31
13	1.4111e-01	1.2022e-03	8.1576e-04	4.5396e-04	0:00:24
14	1.1248e-01	1.0231e-03	7.0360e-04	3.7672e-04	0:00:19
15	9.0063e-02	8.6901e-04	6.0823e-04	3.1360e-04	0:00:15
16	7.3233e-02	7.4193e-04	5.2711e-04	2.6393e-04	0:00:12
17	6.0684e-02	6.3672e-04	4.6110e-04	2.2492e-04	0:00:10
18	5.1124e-02	5.5064e-04	4.0586e-04	1.9281e-04	0:00:08
19	4.3854e-02	4.8009e-04	3.5955e-04	1.6580e-04	0:00:06
20	3.8115e-02	4.2444e-04	3.2085e-04	1.4416e-04	0:00:21
21	3.3605e-02	3.7742e-04	2.8731e-04	1.2692e-04	0:00:16
22	2.9989e-02	3.3772e-04	2.5869e-04	1.1299e-04	0:00:13
23	2.6871e-02	3.0280e-04	2.3339e-04	1.0190e-04	0:00:10
24	2.4190e-02	2.7299e-04	2.1128e-04	9.2689e-05	0:00:08
25	2.1880e-02	2.4702e-04	1.9215e-04	8.4658e-05	0:00:06
26	1.9941e-02	2.2407e-04	1.7588e-04	7.7661e-05	0:00:05
27	1.8289e-02	2.0389e-04	1.6198e-04	7.1416e-05	0:00:04
28	1.6884e-02	1.8648e-04	1.4982e-04	6.5861e-05	0:00:03

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	time/iter
29	1.5616e-02	1.7129e-04	1.3898e-04	6.0975e-05	0:00:17
30	1.4500e-02	1.5748e-04	1.2921e-04	5.6577e-05	0:00:13
31	1.3471e-02	1.4464e-04	1.2012e-04	5.2541e-05	0:00:10
32	1.2520e-02	1.3301e-04	1.1167e-04	4.8699e-05	0:00:08
33	1.1648e-02	1.2205e-04	1.0372e-04	4.5088e-05	0:00:06
34	1.0847e-02	1.1223e-04	9.6412e-05	4.1650e-05	0:00:05
35	1.0094e-02	1.0307e-04	8.9729e-05	3.8438e-05	0:00:04
36	9.3882e-03	9.4747e-05	8.3533e-05	3.5467e-05	0:00:03
37	8.7559e-03	8.7268e-05	7.7769e-05	3.2750e-05	0:00:15
38	8.1723e-03	8.0427e-05	7.2470e-05	3.0246e-05	0:00:12
39	7.6229e-03	7.4227e-05	6.7491e-05	2.8013e-05	0:00:09
40	7.1197e-03	6.8646e-05	6.2880e-05	2.5790e-05	0:00:07
41	6.6523e-03	6.3548e-05	5.8583e-05	2.3756e-05	0:00:06
42	6.2141e-03	5.8963e-05	5.4593e-05	2.1924e-05	0:00:05
43	5.8067e-03	5.4640e-05	5.0901e-05	2.0271e-05	0:00:04
44	5.4249e-03	5.0623e-05	4.7409e-05	1.8790e-05	0:00:03
45	5.0662e-03	4.6961e-05	4.4153e-05	1.7390e-05	0:00:02
46	4.7276e-03	4.3579e-05	4.1213e-05	1.6151e-05	0:00:13
47	4.4176e-03	4.0488e-05	3.8427e-05	1.4997e-05	0:00:10
48	4.1110e-03	3.7539e-05	3.5804e-05	1.3888e-05	0:00:08
49	3.8286e-03	3.4768e-05	3.3391e-05	1.2849e-05	0:00:06
50	3.5674e-03	3.2217e-05	3.1043e-05	1.1886e-05	0:00:05
51	3.3127e-03	2.9854e-05	2.8819e-05	1.1022e-05	0:00:04
52	3.0782e-03	2.7661e-05	2.6752e-05	1.0242e-05	0:00:03
53	2.8571e-03	2.5629e-05	2.4788e-05	9.4944e-06	0:00:02
54	2.6494e-03	2.3754e-05	2.2944e-05	8.8345e-06	0:00:11
55	2.4506e-03	2.1998e-05	2.1223e-05	8.1688e-06	0:00:09
56	2.2658e-03	2.0396e-05	1.9560e-05	7.5697e-06	0:00:07
57	2.0987e-03	1.8909e-05	1.8093e-05	7.0192e-06	0:00:05
58	1.9361e-03	1.7525e-05	1.6756e-05	6.5430e-06	0:00:04
59	1.7879e-03	1.6224e-05	1.5453e-05	6.1004e-06	0:00:03
60	1.6539e-03	1.5088e-05	1.4288e-05	5.7079e-06	0:00:03
61	1.5271e-03	1.4062e-05	1.3191e-05	5.3153e-06	0:00:02
62	1.4175e-03	1.3154e-05	1.2241e-05	5.0205e-06	0:00:02
63	1.3098e-03	1.2292e-05	1.1329e-05	4.6942e-06	0:00:09
64	1.2147e-03	1.1547e-05	1.0511e-05	4.4273e-06	0:00:07
65	1.1288e-03	1.0906e-05	9.7764e-06	4.1929e-06	0:00:05
66	1.0485e-03	1.0313e-05	9.0943e-06	3.9786e-06	0:00:04
67	9.7296e-04	9.7566e-06	8.4690e-06	3.7797e-06	0:00:03

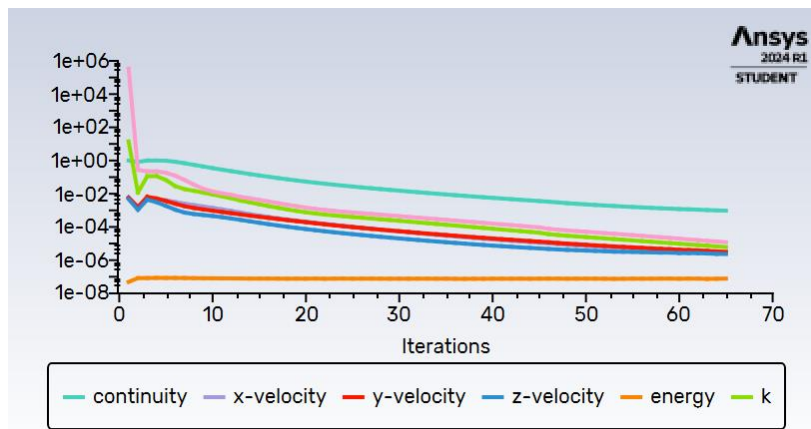
LAMPIRAN E. GRAFIK *RESIDUAL SCALED*

1. Kecepatan Awal 0,27 m/s

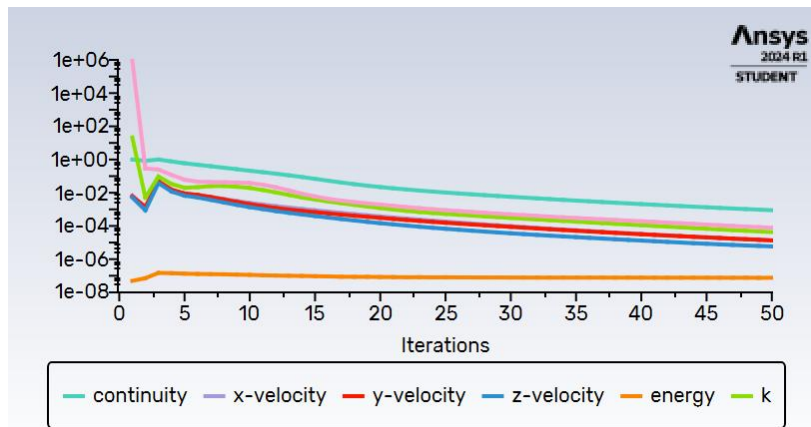
Penyempitan 30%



Penyempitan 50%

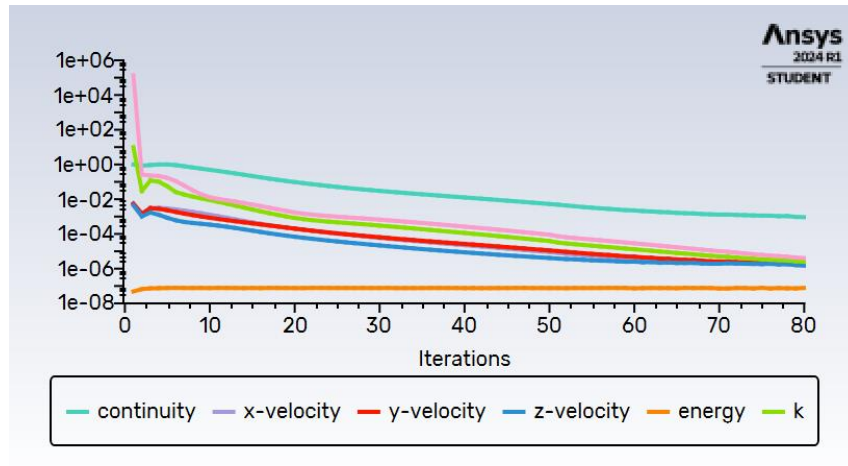


Penyempitan 70%

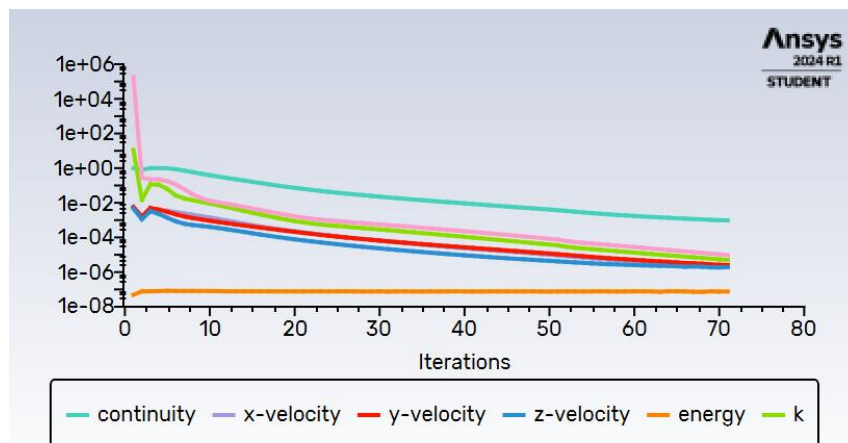


2. Kecepatan Awal 0,32 m/s

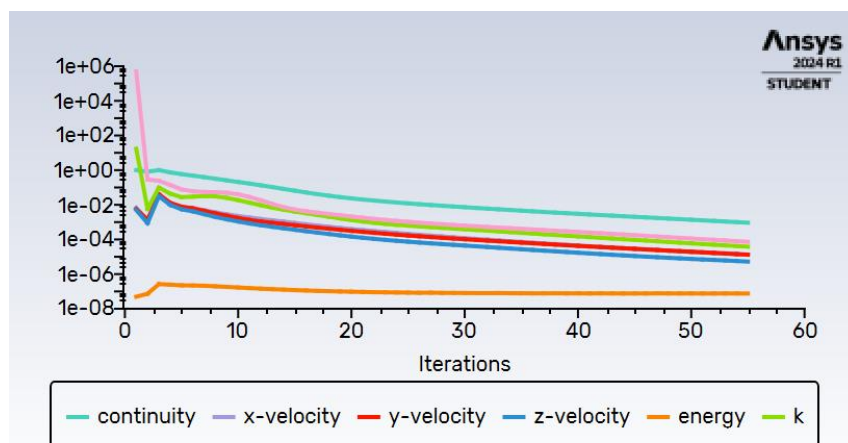
Penyempitan 30%



Penyempitan 50%

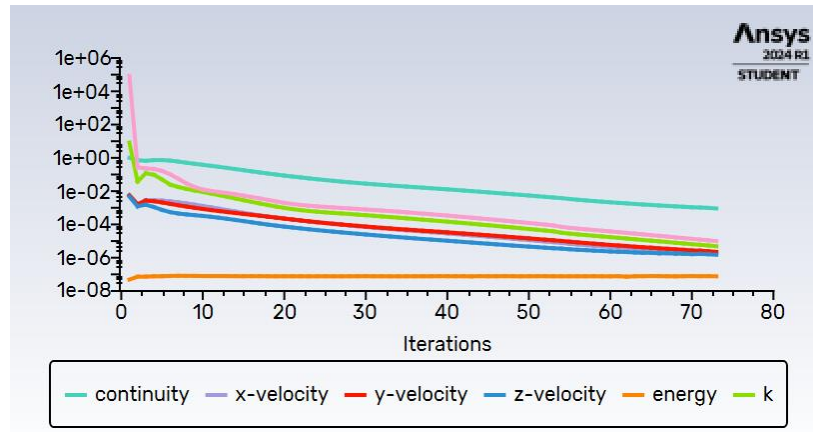


Penyempitan 70%

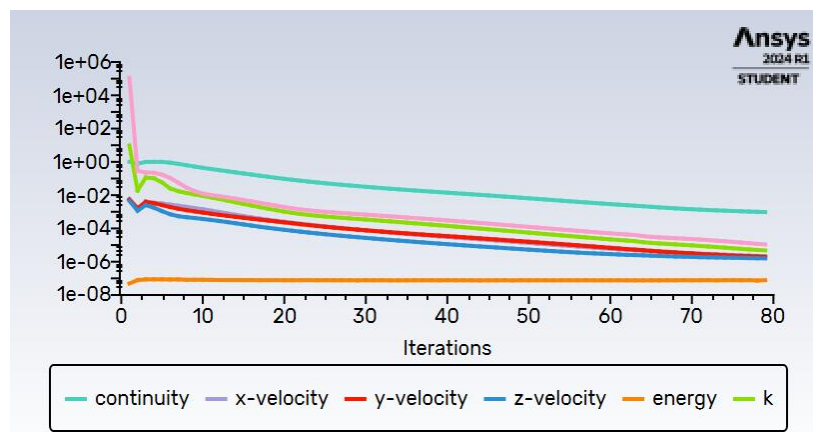


3. Kecepatan Awal 0,37 m/s

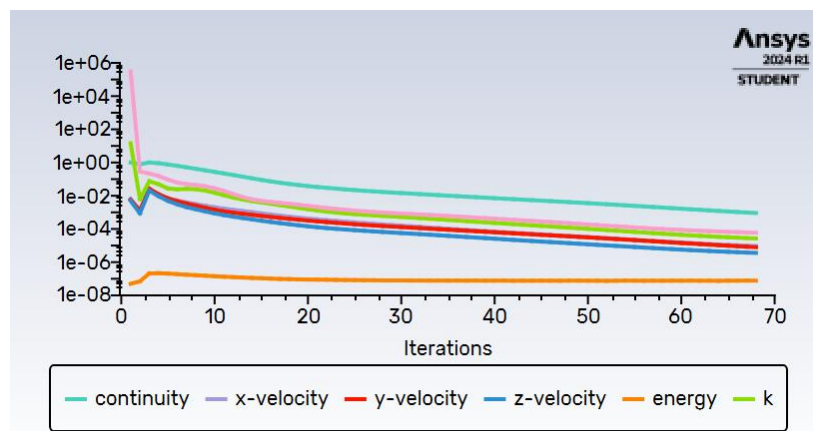
Penyempitan 30%



Penyempitan 50%

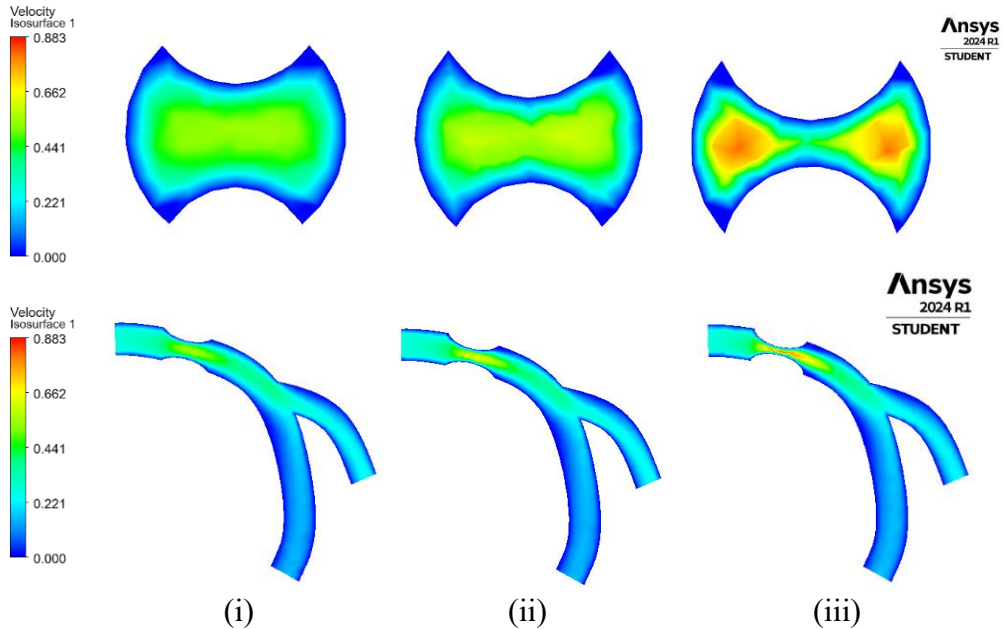


Penyempitan 70%



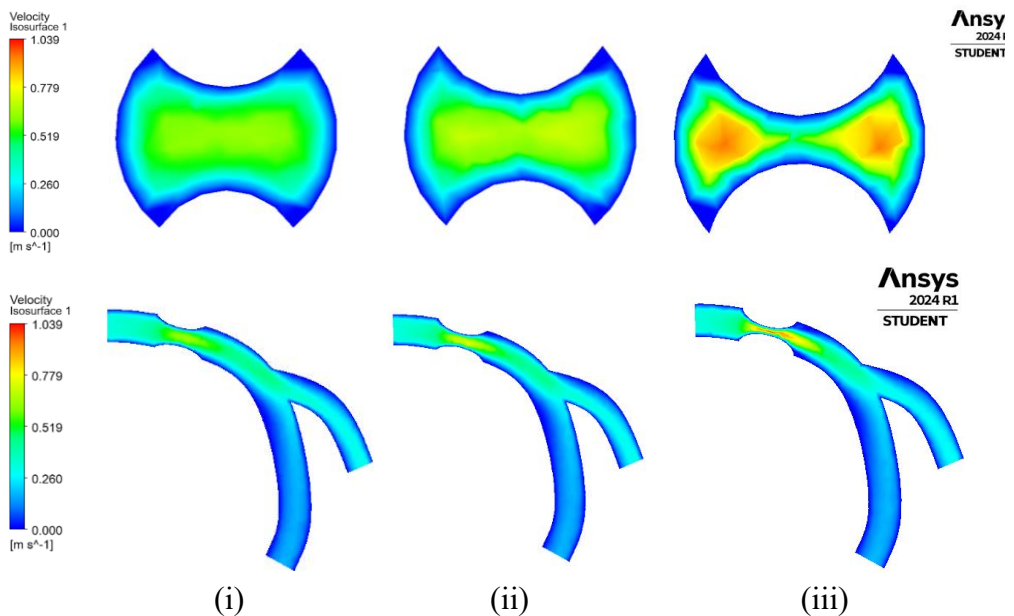
LAMPIRAN F. HASIL SIMULASI FLUENT

1. Simulasi Kecepatan Aliran Darah dengan Kecepatan Awal 0,27 m/s



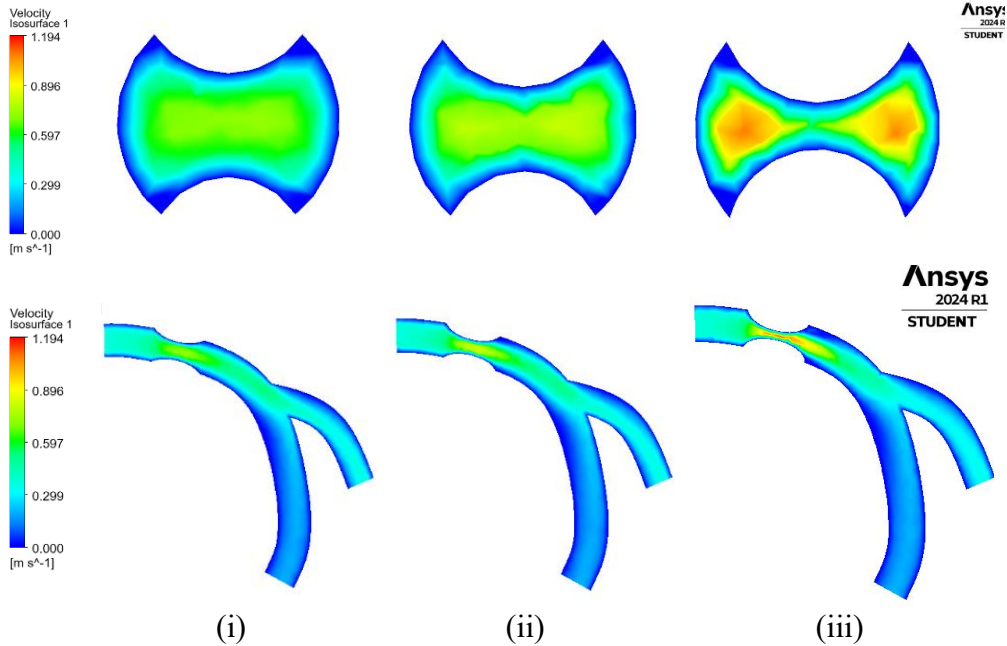
Simulasi Kecepatan Aliran Darah Penyempitan (i) 30% (ii) 50% (iii) 70%

2. Simulasi Kecepatan Aliran Darah dengan Kecepatan Awal 0,32 m/s



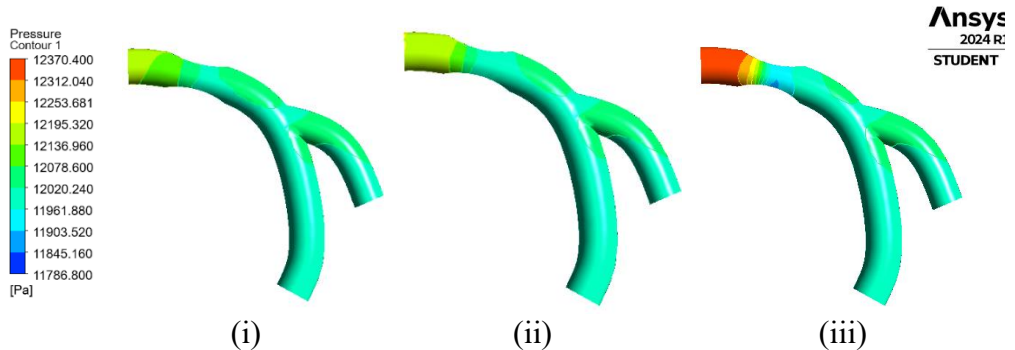
Simulasi Kecepatan Aliran Darah Penyempitan (i) 30% (ii) 50% (iii) 70%

3. Simulasi Kecepatan Aliran Darah dengan Kecepatan Awal 0,37 m/s



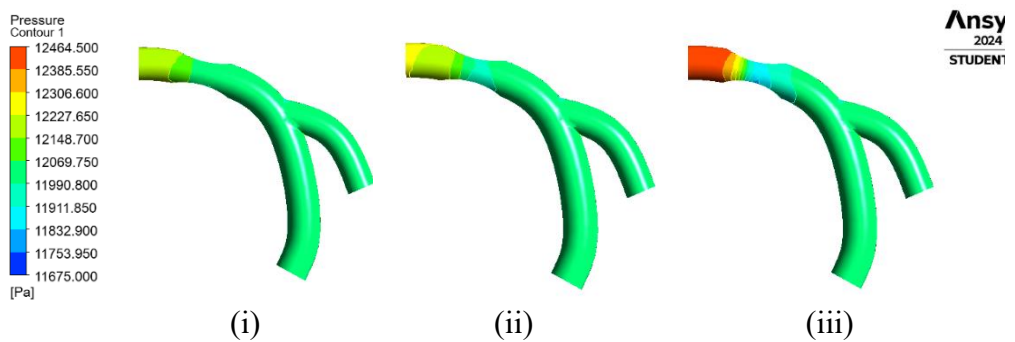
Simulasi Kecepatan Aliran Darah Penyempitan (i) 30% (ii) 50% (iii) 70%

4. Simulasi Tekanan Aliran Darah dengan Kecepatan Awal 0,27 m/s



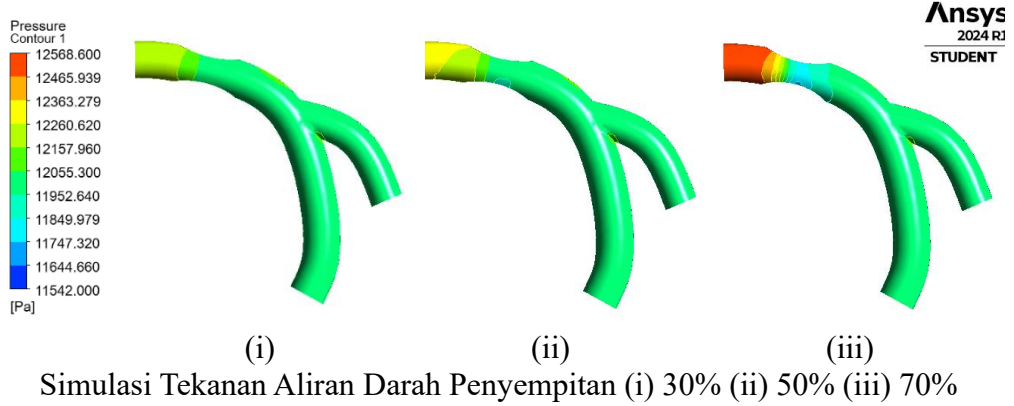
Simulasi Tekanan Aliran Darah Penyempitan (i) 30% (ii) 50% (iii) 70%

5. Simulasi Tekanan Aliran Darah dengan Kecepatan Awal 0,32 m/s

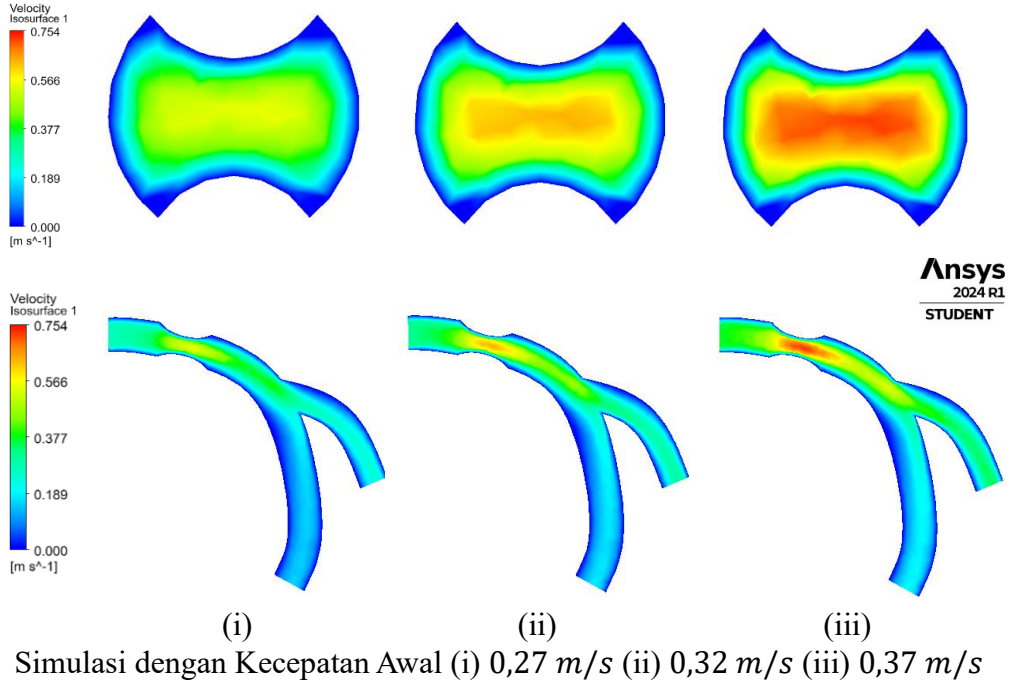


Simulasi Tekanan Aliran Darah Penyempitan (i) 30% (ii) 50% (iii) 70%

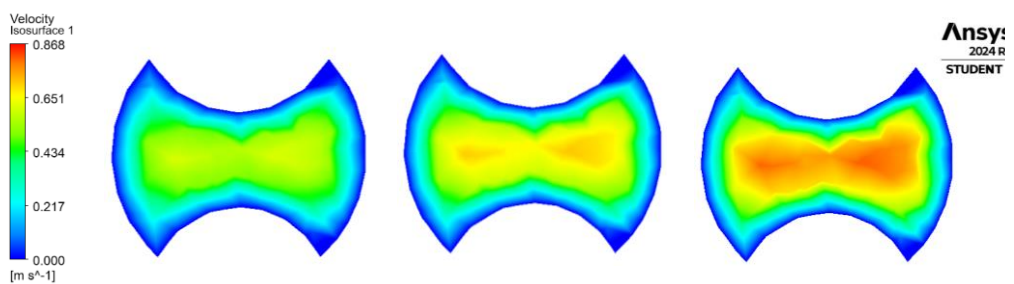
6. Simulasi Tekanan Aliran Darah dengan Kecepatan Awal 0,37 m/s

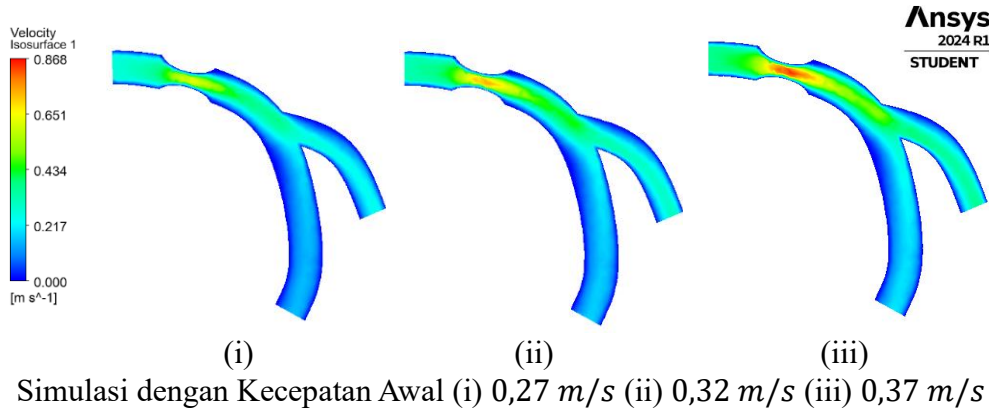


7. Simulasi Kecepatan Aliran Darah dengan Penyempitan 30%

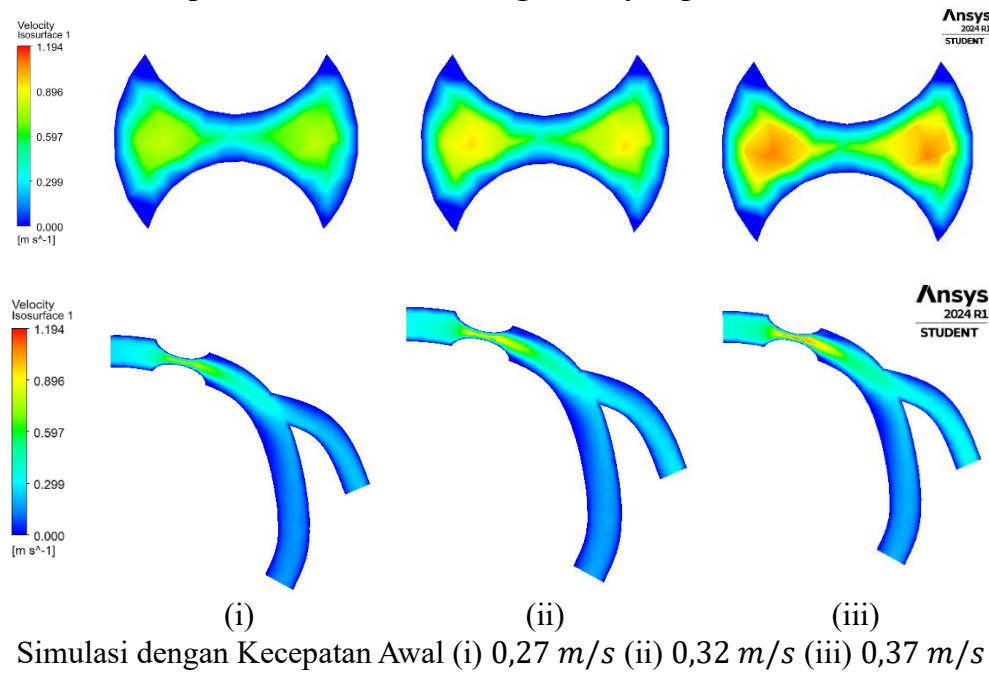


8. Simulasi Kecepatan Aliran Darah dengan Penyempitan 50%

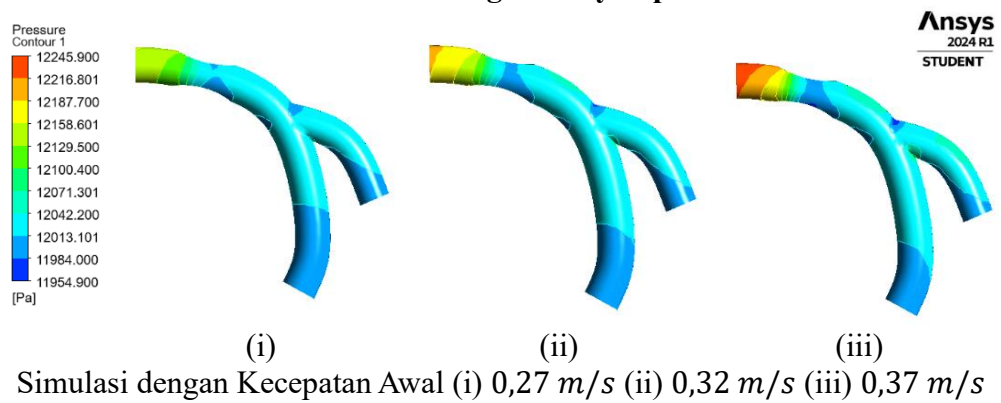




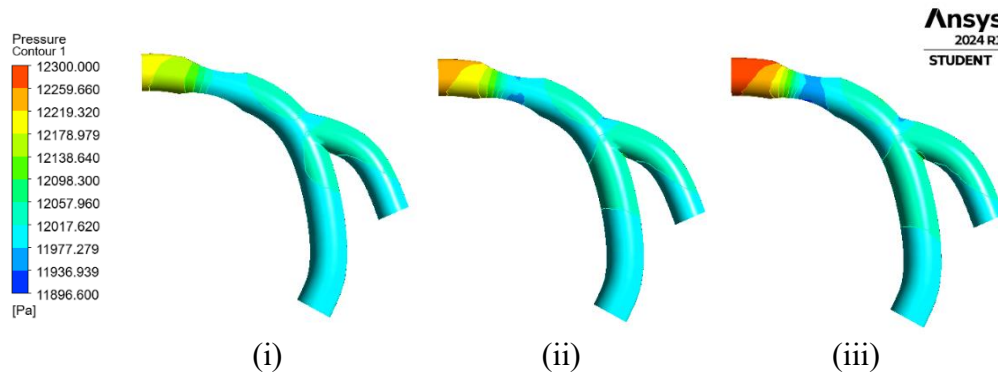
9. Simulasi Kecepatan Aliran Darah dengan Penyempitan 70%



10. Simulasi Tekanan Aliran Darah dengan Penyempitan 30%

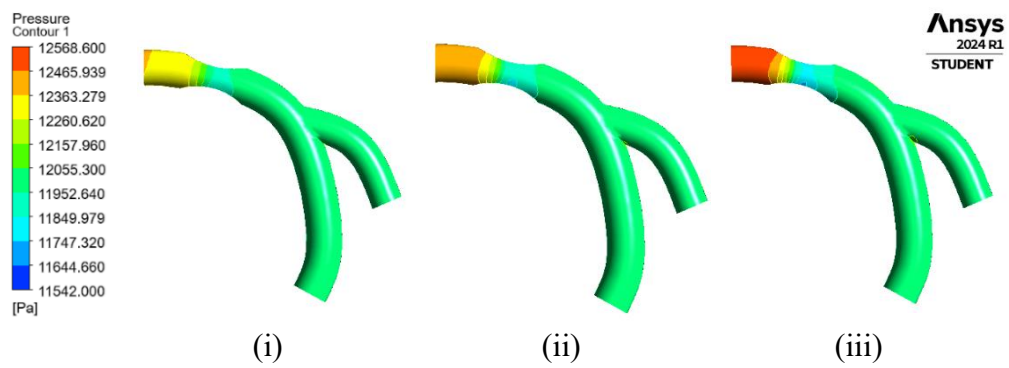


11. Simulasi Tekanan Aliran Darah dengan Penyempitan 50%



Simulasi dengan Kecepatan Awal (i) $0,27 \text{ m/s}$ (ii) $0,32 \text{ m/s}$ (iii) $0,37 \text{ m/s}$

12. Simulasi Tekanan Aliran Darah dengan Penyempitan 70%



Simulasi dengan Kecepatan Awal (i) $0,27 \text{ m/s}$ (ii) $0,32 \text{ m/s}$ (iii) $0,37 \text{ m/s}$