



**ANALISIS NUMERIK ALIRAN DARAH PADA ARTERI
INTRACRANIAL STENOSIS PENYEBAB STROKE ISKEMIK
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA
DALAM MENGASAH TCK**

SKRIPSI

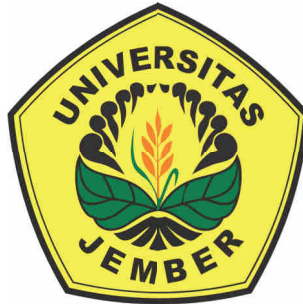
Oleh

ARIF SAPTA MANDALA

NIM 140210101098

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

2018



**ANALISIS NUMERIK ALIRAN DARAH PADA ARTERI
INTRACRANIAL STENOSIS PENYEBAB STROKE ISKEMIK
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA
DALAM MENGSAH TCK**

SKRIPSI

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

Oleh

ARIF SAPTA MANDALA

NIM 140210101098

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

Dosen Pembimbing 2 : Susi Setiawani, S.Si., M.Sc.

Dosen Penguji 1 : Drs. Toto Bara Setiawan, M.Si.

Dosen Penguji 2 : Drs. Suharto, M.Kes.

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

2018

HALAMAN PERSEMBAHAN

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

1. Ayahanda tercinta Wiyarto dan Ibunda tercinta Kholilik, yang selalu memberikan semangat, kasih sayang serta cucuran keringat dan doa yang tiada pernah putus serta Adikku Ikhwan Sapta Muktabar yang senantiasa memberi semangat;
2. Bapak Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si. dan Ibu Susi Setiawani, S.Si., M.Sc. selaku pembimbing skripsi yang dengan sabar telah memberikan ilmu, arahan dan bimbingan selama menyelesaikan skripsi saya;
3. Seluruh dosen FKIP Matematika yang telah memberikan pengalaman, memberikan ilmu, dorongan semangat selama saya menempuh masa studi di pendidikan matematika;
4. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
5. Alumni/kakak tingkat sebagai validator mas Budi Adi Saputra, mbak Siti Aisyah, mbak Riska Amalia Hakim, mbak Putri Nur Amalina, dan mas Ahmad Rizqi Lazuardi;
6. Sahabat-sahabatku Fahmi Rizki Sya'ban, Abdullah Huda dan Randy Karyo Utomo;
7. Teman seperjuangan dan perantauan di Jember Efi, Dias, Ajeng, Iro, Rizki, Sofyan, Yusuf, Brill, dan Junda.
8. Our Family (Ofa) Mila, Albab, Arga, Faruq, Hendro, Icha, Inggrit, Iro, Novia, Nurul, Rere, Rifa, dan Habiby;
9. Teman-teman seperjuangan Pemodelan Novi Safitri, Ratna Damayanti, Firda Yulian Sari, Jimmy Purnomo Hasan, dan Lilavati;
10. *Matric Boys*, Kosan Hendra Jaya dan Teman-teman Pendidikan Matematika FKIP Universitas Jember Angkatan 2014.

HALAMAN MOTTO

وَمَنْ يَتَّقِ اللَّهَ يَجْعَلْ لَهُ مَخْرَجًا . وَيَرْزُقْهُ مِنْ حَيْثُ لَا يَحْتَسِبُ

"Barangsiapa bertakwa kepada Allah niscaya Dia akan mengadakan baginya jalan keluar. Dan memberinya rezki dari arah yang tiada disangka-sangkanya."

(QS. Ath Thalaq [65]: 2-3)

"I have not failed, I've just found 10.000 ways that won't work"

- Thomas Alva Edison -

"If you can dream it, you can do it"

- Walt Disney -

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arif Sapta Mandala

NIM : 140210101098

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul "*Analisis Numerik Aliran Darah pada Arteri Intracranial stenosis Penyebab Stroke Iskemik Menggunakan Metode Elemen Hingga dalam Mengasah TCK*" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada instansi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 30 Juli 2018

Yang menyatakan,

Arif Sapta Mandala
NIM 140210101098

SKRIPSI

ANALISIS NUMERIK ALIRAN DARAH PADA ARTERI
INTRACRANIAL STENOSIS PENYEBAB STROKE ISKEMIK
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA
DALAM MENGASAH TCK

Oleh

ARIF SAPTA MANDALA

NIM 140210101098

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Susi Setiawani, S.Si., M.Sc.

HALAMAN PENGAJUAN

ANALISIS NUMERIK ALIRAN DARAH PADA ARTERI
INTRACRANIAL STENOSIS PENYEBAB STROKE ISKEMIK
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA
DALAM MENGSAH TCK

SKRIPSI

diajukan untuk dipertahankan di depan Tim Penguji sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dengan Program Studi Pendidikan Matematika pada Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Oleh:

Nama : Arif Sapta Mandala
NIM : 140210101098
Tempat dan Tanggal Lahir : Pasuruan, 16 Januari 1996
Jurusan / Program : Pendidikan MIPA / P. Matematika

Disetujui oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,

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

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "*Analisis Numerik Aliran Darah Pada Arteri Intracranial Stenosis Penyebab Stroke Iskemik Menggunakan Metode Elemen Hingga dalam Mengasah TCK*" telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Jumat, 27 Juli 2018

tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

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

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

Anggota 1,

Anggota 2,

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

Drs. Suharto, M.Kes.
NIP.19540627 198303 1 002

Mengetahui,

Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Jember

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

RINGKASAN

Analisis Numerik Aliran Darah pada Arteri *Intracranial stenosis* Penyebab Stroke Iskemik Menggunakan Metode Elemen Hingga dalam Mengasah TCK, Arif Sapta Mandala, 140210101098, 2018, 135 Halaman. Program Studi Pendidikan Matematika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

Matematika merupakan ilmu yang mendasari disiplin ilmu lainnya dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi modern. Seiring dengan perkembangan, matematika digunakan di seluruh dunia sebagai alat penting di berbagai bidang, termasuk ilmu alam, ilmu sosial seperti ekonomi, teknik dan kedokteran atau medis. Salah satu cabang matematika yang melingkupi penerapan pengetahuan matematika ke bidang-bidang lain adalah matematika terapan. Matematika terapan berkenaan dengan penggunaan alat matematika abstrak guna memecahkan masalah-masalah konkret di dalam disiplin ilmu lain yang salah satunya adalah kedokteran atau medis.

Intracranial stenosis adalah sebuah penyempitan arteri yang terdapat di otak. Penyempitan pembuluh darah ini menyebabkan penurunan aliran darah ke daerah otak sehingga menyebabkan banyak sel-sel otak yang rusak dalam waktu singkat. Penyebab dari arteri *intracranial stenosis* adalah serangan stroke atau *cerebrovascular accident* (CVA). Tipe penyakit stroke yang paling sering dialami oleh pasien adalah stroke iskemik (*ischemic stroke*). Penyebab stroke iskemik (*ischemic stroke*) adalah adanya sumbatan pada pembuluh darah otak tertentu yang bisa berupa plak sehingga aliran darah pada pembuluh darah tersebut tidak mendapat pasokan energi dan oksigen, dampaknya yaitu jaringan sel-sel otak di daerah tersebut mati dan tidak berfungsi lagi.

Dari latar belakang tersebut maka dilakukan penelitian yang memiliki tujuan untuk mengetahui model matematika aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* akibat stroke iskemik, menganalisis pengaruh ketebalan plak terhadap kecepatan aliran darah, menganalisis pola kecepatan aliran darah pada daerah penyempitan, untuk mengetahui efektivitas metode elemen hingga dalam menganalisis masalah aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* akibat stroke iskemik dan untuk mengetahui tingkat kevalidan dalam mengasah kemampuan TCK melalui analisis numerik aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* aki-

bat stroke iskemik.

Tahapan kegiatan penelitian meliputi: pertama, melakukan studi pustaka tentang aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* penyebab stroke iskemik dan membuat model matematika persamaan momentum. Kedua, melakukan penurunan persamaan elemen dan penyelesaian dalam waktu. Setelah mendapatkan matriks global penyelesaian dalam waktu selanjutnya membuat program matematika kecepatan aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* penyebab stroke iskemik dengan MATLAB. Ketiga, melakukan simulasi dengan FLUENT untuk mengetahui pola kecepatan aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* penyebab stroke iskemik dan melakukan validasi kemampuan TCK peneliti dalam analisis numerik aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* akibat stroke iskemik. Adapun hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. model matematika aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* penyebab stroke iskemik merupakan persamaan yang dinyatakan pada persamaan umum momentum. Berikut ini adalah persamaannya.

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial \rho u \phi_x}{\partial x} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right)$$

dengan,

$$u = 2\bar{u} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right)$$

2. Semakin besar ketebalan plak maka semakin kecil luas panampang tersebut, sehingga semakin besar kecepatan aliran darah.
3. Semakin meningkatnya kecepatan awal yang diberikan maka kecepatan aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* juga akan semakin meningkat.
4. Metode elemen hingga merupakan metode yang efektif untuk menganalisis masalah arteri *Intracranial stenosis* penyebab stroke iskemik dengan tingkat kesalahan perhitungan *error* relatif kurang dari 0.01.
5. Hasil validasi menunjukkan penelitian ini valid untuk mengasah kemampuan TCK peneliti dalam analisis model matematika kecepatan aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* penyebab stroke iskemik.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Analisis Numerik Aliran Darah pada Arteri *Intracranial stenosis* Penyebab Stroke Iskemik Menggunakan Metode Elemen Hingga dalam Mengasah TCK". Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Matematika Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

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

1. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Ketua Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
3. Ketua Program Studi Pendidikan Matematika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
4. Ketua Laboratorium Matematika Program Studi Pendidikan Matematika Jurusan Pendidikan MIPA FKIP;
5. Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
6. Dosen Pembahas dan Dosen Penguji yang telah memberikan masukan demi kesempurnaan skripsi ini;
7. Semua pihak yang telah membantu baik tenaga maupun pikiran dalam penyusunan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

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

Jember, 27 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN BIMBINGAN	v
HALAMAN PENGAJUAN	vi
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMBANG	xvii
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Kebaharuan Penelitian	6
2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pemodelan Matematika	7
2.2 Komputasi Numerik	9
2.3 Fluida	9
2.3.1 Jenis-Jenis Fluida	10
2.3.2 Jenis-Jenis Aliran Fluida	10
2.4 Sistem Peredaran Darah	12
2.4.1 Organ-Organ Peredaran Darah pada Manusia	12
2.4.2 Sistem Sirkulasi Darah	14
2.5 <i>Intracranial stenosis</i>	15

2.6	Stroke Iskemik	17
2.7	CFD (<i>Computational Fluid Dynamics</i>)	18
2.8	Penyempitan Aliran Darah di Otak Akibat <i>Ischemic Stroke</i>	20
2.9	Penelitian yang Relevan	22
2.10	Metode Elemen Hingga	23
	2.10.1 Persamaan Momentum	23
2.11	Teknik Diskritisasi <i>Quadratic Upwind Interpolation Con-</i> <i>fective Kinematics</i> (QUICK)	24
2.12	Metode Eliminasi Gauss-Seidel	26
2.13	Algoritma dan Pemrograman <i>MATLAB</i>	29
	2.13.1 Algoritma	29
	2.13.2 <i>MATLAB</i> 7.0 (<i>Matrix Laboratory</i>)	29
2.14	Perangkat Lunak CFD	30
	2.14.1 GAMBIT	30
	2.14.2 FLUENT 6.0	32
2.15	Galat atau <i>Error</i>	33
2.16	<i>Technological Pedagogical Content Knowledge</i> (TPACK)	35
3	METODE PENELITIAN	38
3.1	Jenis Penelitian	38
3.2	Definisi Operasional	38
3.3	Prosedur Penelitian	40
3.4	Tempat Penelitian	42
3.5	Metode Pengumpulan Data	42
3.6	Data dan Analisis Data	42
3.7	Instrumen Validasi	44
3.8	Metode Analisis Validasi	44
4	HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1	Model Matematika Aliran Darah	46
4.2	Penurunan Persamaan Momentum	51
	4.2.1 Penyusunan Matriks Global	58
4.3	Persamaan Matriks Global dalam Waktu	59
4.4	Efektivitas Metode Elemen Hingga	60
	4.4.1 Tahap <i>Programing</i>	61

4.4.2	<i>Error Relatif</i>	62
4.4.3	Simulasi Pemodelan	64
4.5	Analisis dan Pembahasan	64
4.5.1	Komputasi <i>Matlab</i>	65
4.5.2	Visualisasi Simulasi <i>Fluent</i>	72
4.5.3	Analisis Cara Mengasah Kemampuan TCK	79
5	KESIMPULAN DAN SARAN	83
5.1	Kesimpulan	83
5.2	Saran	84
	DAFTAR PUSTAKA	85
	LAMPIRAN-LAMPIRAN	
A.	<i>Format Programming</i> MATLAB	88
B.	Hasil Simulasi MATLAB dengan Metode Biasa	103
C.	Hasil Simulasi MATLAB dengan Metode Gauss-Seidel	112
D.	Hasil Perhitungan <i>Error Relatif</i>	120
E.	Pedoman Validasi	122
F.	Lembar Analisis Hasil Validasi	124
G.	Lembar Penilaian Validasi	125
H.	Lembar Revisi Skripsi	135

DAFTAR GAMBAR

2.1	Fluida Gas	10
2.2	Fluida Cair	10
2.3	Aliran Laminar	11
2.4	Aliran Turbulen	11
2.5	Aliran Transisi	12
2.6	Sirkulasi Otak	15
2.7	Penyempitan Arteri oleh plak	16
2.8	Angiografi menunjukkan penyempitan arteri serebral tengah (panah merah) yang disebabkan oleh plak	17
2.9	Stroke iskemik terjadi saat terjadinya penyempitan pembuluh darah di otak	18
2.10	Diagram Skematik dari Arteri Stenosis	21
2.11	Bagan Volume Kendali Persamaan Momentum	24
2.12	Diskritisasi QUICK	25
2.13	Tampilan MATLAB 7.0	30
2.14	Tampilan Awal GAMBIT 2	31
2.15	Contoh <i>meshing</i> pada GAMBIT 2	31
2.16	Hasil Simulasi FLUENT 6.0	33
2.17	Kohlers (2013) TPACK <i>Framework</i>	36
3.1	Diagram Alur Penelitian	41
4.1	Bagan Volume Kendali Persamaan Momentum	47
4.2	Grafik kecepatan aliran darah yang dipengaruhi oleh ukuran ketebalan plak 50%, (a) kondisi istirahat dan (b) kondisi beraktivitas	65
4.3	Grafik kecepatan aliran darah yang dipengaruhi oleh ukuran ketebalan plak pada kondisi istirahat	66
4.4	Grafik kecepatan aliran darah yang dipengaruhi oleh ukuran ketebalan plak pada kondisi beraktivitas	66
4.5	Grafik kecepatan aliran darah yang dipengaruhi oleh ukuran ketebalan plak pada kondisi istirahat menggunakan metode Gauss-Seidel	68

4.6	Grafik kecepatan aliran darah yang dipengaruhi oleh ukuran ketebalan plak pada kondisi beraktivitas menggunakan metode Gauss-Seidel	69
4.7	Grafik kecepatan aliran darah yang dipengaruhi oleh kecepatan awal, (a) kondisi istirahat dan (b) kondisi beraktivitas	69
4.8	Grafik kecepatan aliran darah yang dipengaruhi oleh kecepatan awal 0.2 m/s, 0.4 m/s dan 0.6 m/s, (a) kondisi istirahat dan (b) kondisi beraktivitas	70
4.9	Grafik kecepatan aliran darah yang dipengaruhi oleh kecepatan awal 0.2 m/s, 0.4 m/s dan 0.6 m/s saat kondisi istirahat menggunakan metode Gauss-Seidel	71
4.10	Grafik kecepatan aliran darah yang dipengaruhi oleh kecepatan awal 0.2 m/s, 0.4 m/s dan 0.6 m/s saat kondisi beraktivitas menggunakan metode Gauss-Seidel	71
4.11	Desain arteri <i>Intracranial stenosis</i> menggunakan gambit dengan ketebalan plak (a) 50% (b) 65% (c) 80%	72
4.12	Model <i>mesh</i> dari arteri <i>Intracranial stenosis</i> pada gambit dengan ketebalan plak (a) 50% (b) 65% (c) 80%	73
4.13	Kontur kecepatan aliran darah dari arteri <i>Intracranial stenosis</i> dengan ketebalan plak (a) 50% (b) 65% (c) 80%	74
4.14	Vektor kecepatan aliran darah dari arteri <i>Intracranial stenosis</i> dengan ketebalan plak (a) 50% (b) 65% (c) 80%	75
4.15	Kontur kecepatan aliran darah dari arteri <i>Intracranial stenosis</i> dengan kecepatan awal (a)0.2 m/s (b) 0.4 m/s (c) 0.6 m/s	78
4.16	Vektor kecepatan aliran darah dari arteri <i>Intracranial stenosis</i> dengan kecepatan awal (a)0.2 m/s (b) 0.4 m/s (c) 0.6 m/s	79

DAFTAR TABEL

2.1	Tabel Penelitian yang Relevan	22
3.1	Tingkat Kevalidan Instrumen	45





ΣF	=	resultan Gaya
$\{u\}$	=	vektor kolom
F	=	gaya
D	=	debit aliran
P	=	tekanan
R	=	jari-jari saluran
r	=	jari-jari penyempitan
η	=	kekentalan
l	=	panjang saluran
μ	=	koefisien gesek
ρ	=	massa jenis
τ	=	tegangan
x	=	sumbu x
t	=	waktu
u	=	kecepatan
\bar{u}	=	kecepatan rata-rata
$\frac{\partial}{\partial x}$	=	derivatif terhadap x
$\frac{\partial}{\partial t}$	=	derivatif terhadap t
ϕ_e	=	kontrol permukaan <i>east</i> atau timur
ϕ_w	=	kontrol permukaan <i>west</i> atau barat
Δx	=	perubahan sumbu x
Δt	=	perubahan waktu

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Matematika merupakan ilmu yang mendasari disiplin ilmu lainnya dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi modern. Seiring dengan perkembangan, matematika digunakan di seluruh dunia sebagai alat penting di berbagai bidang, termasuk ilmu alam, ilmu sosial seperti ekonomi, teknik dan kedokteran atau medis. Salah satu cabang matematika yang melingkupi penerapan pengetahuan matematika ke bidang-bidang lain adalah matematika terapan. Matematika terapan berkenaan dengan penggunaan alat matematika abstrak guna memecahkan masalah-masalah konkret di dalam disiplin ilmu lain yang salah satunya adalah kedokteran atau medis.

Sistem peredaran darah atau sistem kardiovaskular adalah suatu sistem organ yang terdiri dari jantung, yang memompa darah, dan pembuluh darah (arteri, kapiler, vena) yang mendistribusikan darah ke semua organ (Pappano dan Wier, 2012). Jantung adalah organ pemompa besar yang berfungsi untuk mengedarkan darah keseluruh tubuh. Arteri berfungsi membawa darah dari jantung sedangkan vena membawa darah ke jantung (Pearce, 1979). Darah dibawa ke otak oleh dua arteri berpasangan, arteri karotid internal dan arteri vertebralis. Arteri karotid internal memasok area depan dan arteri vertebra memasok area belakang otak. Setelah melewati tengkorak, arteri vertebral kanan dan kiri bergabung bersama untuk membentuk arteri basilar tunggal. Arteri basilar dan arteri karotid internal "communicate" satu sama lain dalam sebuah cincin di dasar otak yang disebut *Circle of Willis*.

Stenosis intrakranial (*Intracranial stenosis*) adalah sebuah penyempitan arteri yang terdapat di otak. Mirip dengan stenosis karotis di leher, hal ini disebabkan oleh penumpukan plak di dinding dalam pembuluh darah. Arteri yang paling mungkin terkena stenosis adalah arteri *internal carotid* (ICA), arteri serebral tengah (MCA), arteri vertebralis, dan arteri basilar. Penyempitan pembuluh

darah ini menyebabkan penurunan aliran darah ke daerah otak sehingga menyebabkan banyak sel-sel otak yang rusak dalam waktu singkat. Gejala dari arteri *intracranial stenosis* adalah serangan stroke atau ***cerebrovascular accident*** (CVA). Stenosis intrakranial bertanggung jawab atas 8 sampai 10% terjadinya penyakit stroke di Amerika Serikat dan beberapa kelompok etnis tertentu lainnya. Kelompok-kelompok ini mencakup Amerika Afrika, Asia Amerika, dan Hispanik. Pasien dengan penyakit arteri intrakranial cenderung memiliki usia lebih muda dibandingkan dengan penyakit arteri karotid di leher (Ringer, 2016).

Berdasarkan data Riset Kesehatan Dasar tahun 2013, terdapat sekitar 12 penderita stroke per 1000 penduduk Indonesia. Stroke juga merupakan penyakit pembunuh nomor satu di Indonesia. Stroke atau ***cerebrovascular accident*** (CVA) adalah kondisi medis dimana kurangnya aliran darah ke otak yang menyebabkan kematian pada sel. Jenis stroke jika dilihat dari penyebabnya dibagi menjadi dua yakni stroke iskemik dan stroke hemoragik. Tipe penyakit stroke yang paling sering dialami oleh pasien adalah stroke iskemik (*ischemic stroke*). Penyebab stroke iskemik (*ischemic stroke*) adalah adanya sumbatan pada pembuluh darah otak tertentu yang bisa berupa *plaque* sehingga aliran darah pada pembuluh darah tersebut tidak mendapat pasokan energi dan oksigen, akhirnya dampaknya yaitu jaringan sel-sel otak di daerah tersebut mati dan tidak berfungsi lagi.

Terdapat tiga cara di mana arteri *Intracranial stenosis* dapat menyebabkan stroke. Plak bisa tumbuh lebih besar dan lebih besar sehingga arteri menyempit dan mengurangi aliran darah ke otak. Ketika hal itu terjadi, plak akhirnya bisa sepenuhnya memblokir (menutup) arteri. Plak dapat mengeras dan merusak dinding arteri sehingga menyebabkan penggumpalan darah terbentuk dan menghalangi aliran darah ke otak. Plak bisa pecah dan lepas maka plak tersebut berjalan ke hilir untuk masuk ke arteri yang lebih kecil dan menghalangi aliran darah ke otak.

Saat ini banyak bukti bahwa dinamika fluida pembuluh darah memiliki peranan dalam pengembangan simulasi penyakit arteri. Stenosis intrakranial merupakan salah satu faktor resiko terjadinya stroke iskemik. Stroke iskemik terjadi saat aliran darah ke otak terganggu sementara dan kemudian pulih kembali. Gejalanya biasanya berlangsung beberapa menit dan kemudian sembuh total, dan

orang tersebut kembali normal. Namun, serangan stroke iskemik tidak bisa dia-baikan sebab akan menyebabkan cedera otak permanen karena pecahnya pembuluh darah sehingga darah tersebut merembes ke dalam suatu daerah di otak. Dengan demikian, studi aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* akibat stroke iskemik memainkan peran penting untuk pemahaman, diagnosis dan pengobatan penyakit penyumbatan arteri di dalam otak.

Menurut Roy Mukesh dkk, dalam jurnal yang berjudul *Modelling of Blood Flow in Stenosed Arteries*, kelainan pada arteri sangat mengganggu medan aliran pada darah. Oleh karena itu, dilakukan penelitian dengan memodelkan aliran flu-ida pada penyempitan pembuluh arteri di otak yang mengalami iskemik stroke. Berbeda dengan Roy Mukesh, peneliti akan memodelkan arteri serebral tengah (MCA) dengan penyelesaian menggunakan metode elemen hingga. Pemodelan dapat diselesaikan dengan tiga pilihan metode yaitu, metode beda hingga, metode volume hingga, dan metode elemen hingga. Metode elemen hingga merupakan me-tode yang memiliki tingkat ketelitian yang paling tinggi dan bisa digunakan pada berbagai macam kasus aliran fluida sehingga dalam penelitian ini menggunakan metode tersebut. Beberapa alat bantu yang juga diperlukan untuk menyelesaikan model matematika yaitu adalah Matlab dan CFD (*Computational Fluids Dynam-ics*). Matlab adalah software aplikasi yang dilengkapi oleh fungsi-fungsi khusus hingga mudah dan cepat menyelesaikan beberapa masalah sains dan teknologi (Dafik, 199b:1). Gambit merupakan salah satu program dalam *software* CFD yang dibuat untuk memudahkan dalam membuat model dan melakukan diskriti-sasi (*meshing*) pada model untuk dianalisis pada ANSYS Fluent. ANSYS Fluent merupakan salah satu jenis program CFD yang menggunakan metode elemen hingga.

Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) adalah bentuk di-sintesis dari pengetahuan yang memiliki tujuan untuk mengintegrasikan antara teknologi pendidikan dengan pembelajaran yang ada di dalam kelas. Bentuk integrasi antara teknologi pendidikan dan pembelajaran di dalam kelas ini dapat membantu dosen agar lebih mudah dalam memberikan pemahaman kepada siswa mengenai materi yang akan disampaikan di dalam kelas. Teknologi pen-didikan juga membantu siswa dalam proses pembelajaran selain lebih mudah dalam memahami materi yang diberikan oleh guru siswa juga dapat lebih mudah

dalam mencari literatur tentang materi yang disampaikan di dalam kelas, selain itu siswa juga lebih muda dalam menyelesaikan permasalahan atau soal-soal yang diberikan oleh guru dalam proses pembelajaran.

Dari uraian di atas, akan dilakukan penelitian dengan memodelkan dan mensimulasikan proses aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* akibat stroke iskemik menggunakan *software* MATLAB dan ANSYS Fluent serta persamaan matematika diselesaikan dengan metode numerik volume hingga. Pada penelitian ini penulis memilih judul ” **Analisis Numerik Aliran Darah pada Arteri *Intracranial stenosis* Penyebab Stroke Iskemik Menggunakan Metode Elemen Hingga dalam Mengasah TCK**”.

1.2 Rumusan Masalah

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

- 1) bagaimana model matematika aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* penyebab stroke iskemik?
- 2) bagaimana hasil analisis pengaruh ketebalan *plaque* pada arteri *Intracranial stenosis* penyebab *ischemic stroke* terhadap kecepatan aliran darah?
- 3) bagaimana hasil analisis pengaruh kecepatan awal pada arteri *Intracranial stenosis* penyebab stroke iskemik terhadap kecepatan aliran darah?
- 4) bagaimana efektivitas metode elemen hingga dalam menganalisis masalah arteri *Intracranial stenosis* penyebab stroke iskemik?
- 5) bagaimana cara mengasah kemampuan TCK melalui analisis masalah arteri *Intracranial stenosis* penyebab stroke iskemik?

1.3 Batasan Masalah

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

- 1) pemodelan mengenai aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* penyebab stroke iskemik;
- 2) desain arteri pada *middle cerebral artery* (MCA);
- 3) diasumsikan bahwa *plaque* kanan dan kiri yang terjadi memiliki ukuran yang sama;

- 4) viskositas zat diabaikan;
- 5) jenis dan sifat pembentuk *plaque* pada arteri *Intracranial stenosis* diabaikan;
- 6) metode analisis yang digunakan adalah metode elemen hingga;
- 7) metode diskritisasi menggunakan *Quadratic Upwind Interpolation Connec-tive Kinematics (QUICK)*;
- 8) analisis yang digunakan menggunakan bantuan *software* MATLAB;
- 9) model matematika disimulasikan dengan *software* ANSYS Fluent.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) untuk menentukan model matematika aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* penyebab stroke iskemik;
- 2) untuk mengetahui hasil analisis pengaruh ketebalan *plaque* pada arteri *Intracranial stenosis* penyebab stroke iskemik terhadap kecepatan aliran aliran darah;
- 3) untuk mengetahui hasil analisis pengaruh kecepatan awal pada arteri *Intracranial stenosis* penyebab stroke iskemik terhadap kecepatan aliran udara;
- 4) untuk mengetahui efektivitas metode elemen hingga dalam menganalisis masalah arteri *Intracranial stenosis* penyebab stroke iskemik.
- 5) untuk mengetahui cara mengasah kemampuan TCK

1.5 Manfaat Penelitian

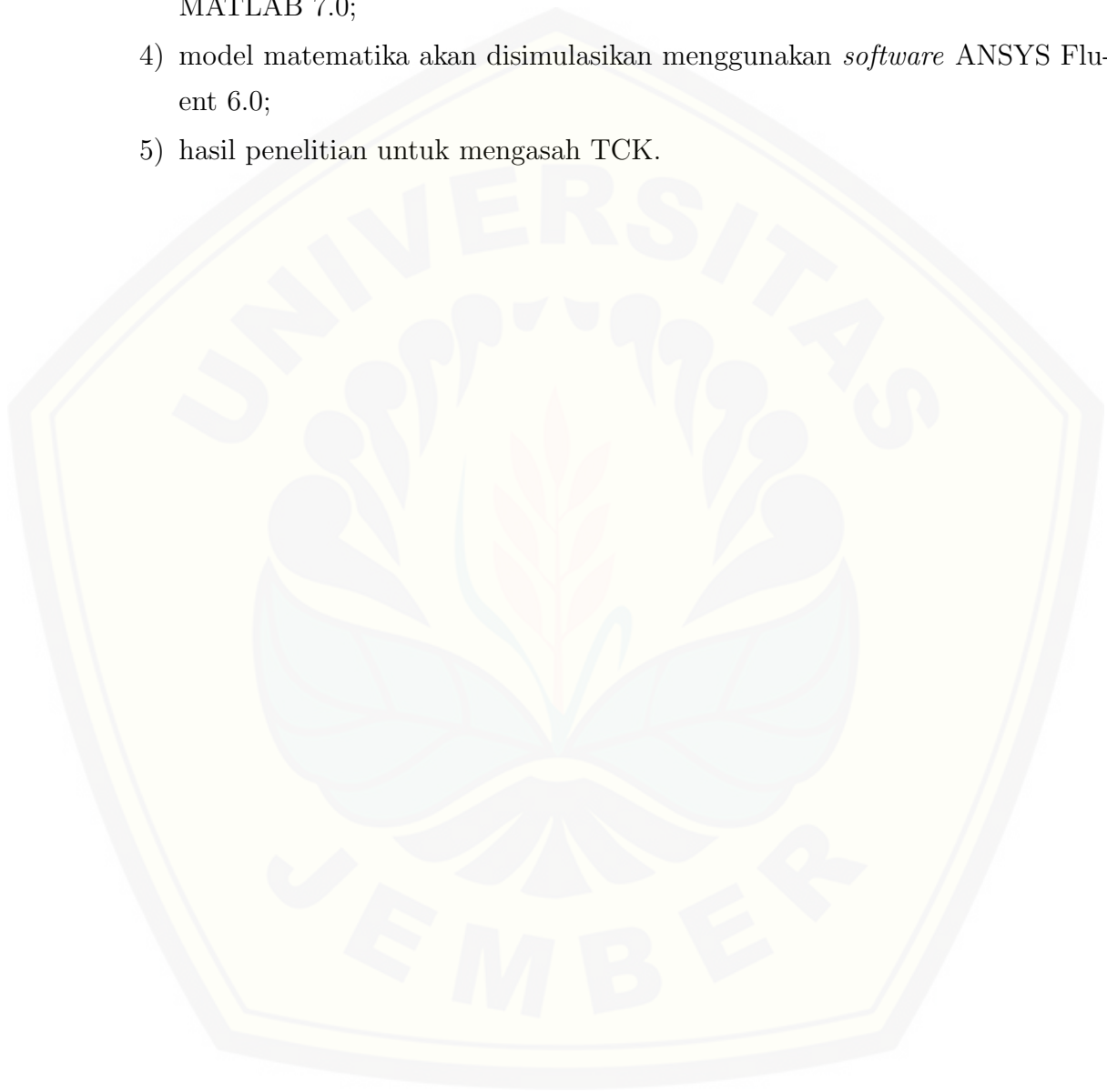
Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

- 1) menambah pengetahuan peneliti dalam bidang pemodelan matematika;
- 2) menambah pengetahuan baru peneliti dalam bidang kedokteran/medis;
- 3) menjadi sumber bacaan untuk peneliti lain yang ingin melakukan penelitian sejenis atau penelitian lebih lanjut;
- 4) menambah pengetahuan peneliti dalam bidang pemodelan matematika dengan memberikan kontribusi terhadap berkembangnya pengetahuan baru dalam pemodelan matematika menggunakan metode elemen hingga.

1.6 Kebaharuan Penelitian

Adapun kebaruan dari penelitian ini adalah:

- 1) model matematika aliran darah pada arteri diselesaikan menggunakan metode elemen hingga;
- 2) model rumus yang dipakai berbeda dengan literatur sebelumnya;
- 3) solusi numerik dari model matematika akan diselesaikan dengan *software* MATLAB 7.0;
- 4) model matematika akan disimulasikan menggunakan *software* ANSYS Fluent 6.0;
- 5) hasil penelitian untuk mengasah TCK.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemodelan Matematika

Model merupakan suatu realisasi yang lebih sederhana suatu bentuk nyata yang kompleks. Jenis-jenis model, yaitu model fisik, model analogi dan model matematika. Menurut Bender (2012), model matematika adalah suatu representasi yang meniru kehidupan nyata dengan menggunakan bahasa matematika. Secara umum model matematika merupakan replika atau tiruan yang dilaksanakan dengan mendeskripsikan suatu fenomena maupun peristiwa alam tergantung dari ketepatan formulasi persamaan matematis dalam mendiskripsikannya. Kecocokan model terhadap fenomena atau peristiwa alamnya tergantung dari ketepatan formula persamaan matematis dalam mendeskripsikan fenomena atau peristiwa alam yang direplikakan (Luknanto, 2003).

Model matematika sering diterapkan untuk memprediksi apa yang akan terjadi di masa depan sehingga dalam praktiknya banyak disiplin ilmu dalam bidang studi lain, yaitu ilmu alam (fisika, biologi, geografi, meteorologi), teknik komputer, mesin, sipil) dan ilmu sosial (ekonomi, ilmu politik, statistika) menggunakan model matematika.

Pemodelan Matematika merupakan salah satu cabang matematika yang merepresentasikan dan menjelaskan sistem-sistem fisik / permasalahan pada dunia nyata dalam pernyataan matematis, sehingga diperoleh pemahaman dari permasalahan dunia nyata ini menjadi lebih tepat. Hasil representasi matematika dari proses ini disebut sebagai "Model Matematika". Salah satu pandangan bentuk aplikasi matematika yang paling penting, yaitu kontruksi, analisis dan penggunaan model matematika (Widowati dan Sutimin, 2007). Menurut Carson dan Cobelli (2013) istilah klasiknya, pemodelan dapat digunakan untuk mendeskripsikan, menginterpretasikan, memprediksi atau menjelaskan. Misalnya ekspresi matematika dari bentuk peluruhan eksponensial tunggal dapat memberikan dekripsi ringkas tentang pendekatan data dari proses orde pertama.

Menurut Widowati dan Sutimin (2007) terdapat beberapa jenis-jenis model

matematika dan ini meliputi, model empiris, model simulasi, model stokastik dan deterministik.

1. Model Empiris

Pendekatan model empiris, data yang berhubungan dengan masalah menentukan peran yang penting. Gagasan yang utama pendekatan ini adalah mengkonstruksi formula atau persamaan matematika yang dapat menghasilkan grafik yang terbaik untuk mencocokkan data.

2. Model Simulasi

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

3. Model Deterministik dan Stokastik

Model deterministik meliputi penggunaan persamaan atau himpunan persamaan untuk merepresentasikan hubungan antara berbagai komponen atau variabel suatu sistem atau problem. Suatu contoh adalah persamaan diferensial biasa yang menjelaskan bagaimana suatu kuantitas tertentu berubah terhadap waktu. Persamaan ini menunjukkan hubungan antara kuantitas dan waktu sebagai variabel bebas. Diberikan syarat awal yang sesuai, persamaan diferensial dapat diselesaikan untuk memprediksi perilaku sistem model.

Proses pemodelan menurut Bender (2012) secara garis besar, yaitu merumuskan masalah, mengkonstruksi model, menginterpretasikan dan tes model.

1. Merumuskan Masalah

Memulai dengan mencari permasalahan dalam dunia nyata, rumuskan permasalahan tersebut ke dalam bahasa matematika. Kemudian modelkan, sifat model yang dipilih sangat bergantung pada apa yang diinginkan untuk diketahui.

2. Mengkonstruksi Model

Bagian ini harusnya memisahkan berbagai bagian-bagian umum menjadi khusus. Keterkaitan antara variabel-variabel juga harus dispesifikkan.

3. Menginterpretasikan

Menginterpretasikan bertujuan untuk melihat model tersebut apakah sudah sesuai dengan yang diinginkan, dengan menterjemahkan kembali model matematisnya ke dalam situasi nyata seperti semula.

4. Tes Model

Test model berguna untuk menilai kelayakan model, gunakan kembali model untuk dicek, bila model masih belum layak, ulangi kembali dari langkah ke-2 atau langkah pertama dengan melakukan perbaikan.

2.2 Komputasi Numerik

Metode numerik merupakan teknik-teknik yang digunakan untuk merumuskan masalah-masalah matematika agar dapat diselesaikan dengan operasi-operasi aritmatika (hitungan) biasa (tambah, kurang, kali, dan bagi). Salah satu alasan mengapa mempelajari metode numerik, adalah metode numerik merupakan alat untuk memecahkan masalah matematika yang sangat handal. Komputasi Numerik merupakan suatu perhitungan model matematika terhadap suatu permasalahan yang ada, dengan menggunakan suatu alat atau *software* pada komputer. Komputasi numerik digunakan dalam *System Modelling*. Banyak permasalahan yang mustahil dapat diselesaikan secara analitik akan tetapi dapat diselesaikan dengan metode numerik. Ada dua macam penyelesaian masalah matematika, yaitu: 1) Secara analisis, dengan menggunakan kaidah-kaidah operasi matematika dengan cara yang formal. 2) Secara numeris, yaitu dengan menggunakan metode numerik untuk memperoleh nilai solusi hampiran dari solusi eksak.

2.3 Fluida

Fluida merupakan suatu zat yang mempunyai kemampuan mengalir dan berubah bentuk secara terus menerus (kontinu) selama tegangan geser (shear stress) atau tangensial (tangential) diterapkan, tidak peduli seberapa kecilnya. Fluida dalam keadaan diam / setimbang jika tegangan gesernya dalam keadaan nol, atau biasa disebut dengan tekanan hidrostatis dimana tekanan yang diberikan oleh fluida pada kesetimbangan dipengaruhi kepada ketinggian fluida, massa jenis dan percepatan gravitasi (White, 2011:6).

2.3.1 Jenis-Jenis Fluida

Berdasarkan bentuknya, fluida dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Gas

Gas merupakan salah satu bentuk dari fluida. Gas dapat menyebar memenuhi ruangan tempatnya berada. Gas memiliki molekul-molekul yang mampu bergerak secara bebas. Gas tidak memiliki volume yang pasti, dan bila dibiarkan bebas di ruang terbuka, gas membentuk atmosfer yang pada dasarnya bersifat hidrostatis. Salah satu contoh dari zat gas ialah asap.



Gambar 2.1 Fluida Gas
(sumber: pixabay.com)

2. Cair

Zat cair memiliki sifat yang sama dengan zat gas yaitu mampu bergerak bebas serta berubah bentuk sesuai dengan tempat yang ditempatinya. Berbeda dengan zat gas, zat cair terdiri dari molekul-molekul yang relatif dekat dengan kekuatan kohesif yang kuat sehingga cenderung mempertahankan volumenya.



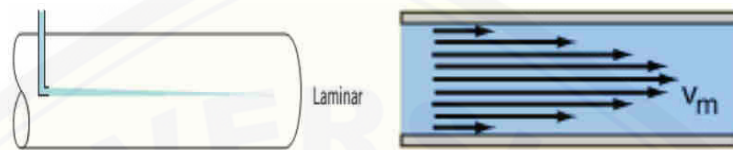
Gambar 2.2 Fluida Cair
(sumber: pandaibelajar.com)

2.3.2 Jenis-Jenis Aliran Fluida

Berdasarkan bentuk aliran fluidanya, aliran fluida dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Aliran Laminar

Aliran laminar merupakan aliran fluida yang bergerak secara teratur sesuai dengan lintasan dengan kondisi lapisan-lapisan membentuk garis alir yang meluncur secara merata. Aliran ini dapat dibentuk bila bilangan Reynold kurang dari 2300. Salah satu contoh aliran laminar yaitu aliran air di dalam pipa. Air tersebut bergerak sepanjang pipa dan keluar dari pipa dengan arah yang tetap, jika pipa horizontal maka akan terus berjalan ke arah horizontal sepanjang pipa.



Gambar 2.3 Aliran Laminar

2. Aliran Turbulen

Aliran turbulen merupakan aliran fluida yang bergerak tidak teratur serta kecepatan yang dapat berubah-ubah. Akibatnya partikel pada aliran turbulen diekspresikan sebagai garis alir maka garis alir partikel fluida tersebut saling berpotongan. Aliran ini dapat dibentuk bila bilangan Reynold lebih dari 4000. Salah satu contoh aliran fluida turbulen yaitu udara.



Gambar 2.4 Aliran Turbulen

3. Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Aliran darah merupakan contoh aliran transisi. Aliran darah dalam pembuluh darah, diawali dengan aliran laminar kemudian pada fase berikutnya aliran berubah menjadi aliran turbulen. Aliran ini dapat dibentuk bila bilangan Reynold antara 2000-4000.



Gambar 2.5 Aliran Transisi

2.4 Sistem Peredaran Darah

Sistem peredaran darah atau sistem kardiovaskular adalah suatu sistem organ yang terdiri dari jantung, yang memompa darah, dan pembuluh darah (arteri, kapiler, vena) yang mendistribusikan darah ke semua organ (Pappano dan Wier, 2012). Jantung adalah organ pemompa besar yang berfungsi untuk mengedarkan darah keseluruh tubuh. Arteri berfungsi membawa darah dari jantung sedangkan vena membawa darah ke jantung. Pembuluh kapiler berfungsi menggabungkan arteri dan vena, terentang di antaranya dan merupakan jalan lalu lintas antara makanan dan bahan buangan. Pertukaran gas terjadi di sini, di dalam cairan ekstraseluler atau interstisiil (Pearce, 1979).

Pada prinsipnya, sistem peredaran darah memiliki empat komponen utama sebagai berikut:

1. Darah, berfungsi sebagai medium pengangkut untuk nutrisi, udara, dan zat buangan.
2. Jantung, berfungsi memompa darah sehingga dapat beredar ke seluruh tubuh.
3. Pembuluh darah, merupakan saluran tempat darah beredar ke seluruh tubuh.
4. Sistem lain yang dapat menambah atau mengurangi kandungan dalam darah. Misalnya, usus halus dalam sistem pencernaan tempat darah mendapatkan nutrisi yang akan dibawa ke seluruh tubuh, atau ginjal tempat darah mengurangi konsentrasi urea yang dikandungnya.

2.4.1 Organ-Organ Peredaran Darah pada Manusia

Organ-organ dalam peredaran darah manusia terdiri dari jantung dan pembuluh darah.

1. Jantung

Jantung adalah organ pemompa berupa otot yang terletak di medial ke

paru-paru dan belakang sternum di sepanjang garis tengah tubuh di dalam toraks. Ujung bawah jantung, yang dikenal sebagai puncaknya, diputar ke kiri, sehingga sekitar $2/3$ jantung terletak di sisi kiri tubuh dengan $1/3$ yang lain di sebelah kanan. Bagian atas jantung, yang dikenal sebagai dasar jantung, terhubung ke pembuluh darah besar tubuh: aorta, vena cava, pulmonary trunk, dan pulmonary veins.

Jantung sebagai organ otot mempunyai ciri-ciri yang khas yaitu: kemampuan berkontraksi, konduktivitas, dan ritme. Kemampuan berkontraksi merupakan bentuk otot jantung yang memompa darah, yang masuk sewaktu diastole, keluar dari ruang-ruangnya. Konduktivitas (daya antar) merupakan bentuk kontraksi yang diantarkan melalui setiap serabut otot jantung secara halus. Ritme merupakan bentuk kekuatan otot jantung dari kontraksi ritmik secara otomatis, tanpa tergantung pada rangsangan saraf.

2. Pembuluh Darah

Pembuluh darah manusia terdiri dari arteri (pembuluh nadi), vena (pembuluh balik) dan kapiler.

(a) Arteri (Pembuluh Nadi)

Arteri adalah pembuluh darah yang aliran darahnya mengalir meninggalkan jantung. Arteri terdiri dari beberapa lapisan, di antaranya jaringan ikat yang kuat dan elastis, jaringan otot polos, dan jaringan endotelium. Arteri dapat dirasakan denyut nadinya meskipun tidak terlihat di atas kulit. Pembuluh nadi dapat dibedakan menjadi aorta. Aorta adalah pembuluh nadi besar dalam tubuh yang menyalurkan darah yang baru keluar dari ventrikel jantung menuju arteri-arteri. Arteri bercabang-cabang hingga membentuk saluran pembuluh dengan diameter yang lebih kecil yang disebut arteriol. Arteriol kemudian bercabang-cabang lagi hingga membentuk saluran halus yang berhubungan langsung dengan jaringan, disebut kapiler.

(b) Vena (Pembuluh Balik)

Vena adalah pembuluh darah yang aliran darahnya menuju jantung. Saluran ini lebih mudah dilihat mata. Karena vena berada di lapisan atas dekat dengan permukaan kulit dan berwarna kebiruan. Darah yang berada pada seluruh tubuh bermuara menjadi satu di pembuluh darah balik besar (vena cava). Pembuluh darah ini masuk ke jantung melalui serambi kanan. Setelah terjadi pertukaran gas di paru-paru, darah mengalir ke jantung lagi melalui vena paru-paru. Pembuluh vena ini membawa darah yang kaya oksigen. Jadi, darah dalam semua pembuluh vena banyak mengandung karbon dioksida kecuali vena pulmonalis.

(c) Kapiler

Pembuluh kapiler merupakan bukan pembuluh nadi yang sesungguhnya. Akan tetapi, di pembuluh ini fungsi utama dalam sistem sirkulasi terjadi berupa pertukaran zat. Pembuluh kapiler adalah pembuluh yang menghubungkan cabang-cabang arteri dan vena yang ukurannya kecil dengan sel-sel tubuh.

2.4.2 Sistem Sirkulasi Darah

Organ utama dalam sirkulasi darah adalah jantung. Oleh karena itu, terdapat tiga peredaran darah dalam sistem sirkulasi darah. Peredaran darah tersebut yaitu peredaran darah besar, peredaran darah kecil dan sirkulasi portal (Pearce, 1979).

1. Peredaran Darah Besar

Darah meninggalkan ventrikel kiri jantung melalui aorta ke seluruh tubuh. Setelah ke seluruh tubuh darah akhirnya kembali melalui vena kava ke antrium kanan jantung.

2. Peredaran Darah Kecil

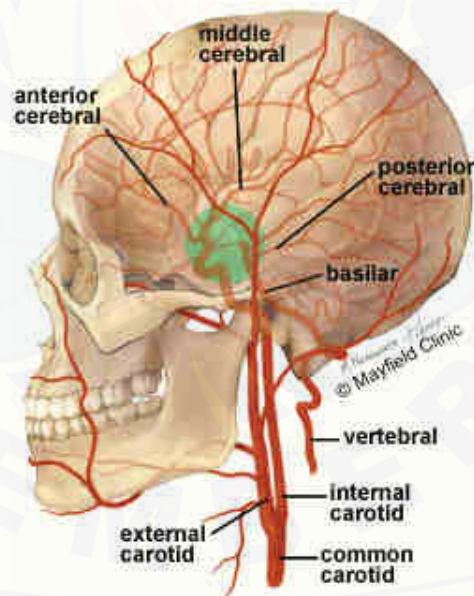
Darah di ventrikel kanan jantung menuju paru-paru melewati arteri *pulmonalis* dan melewati vena *pulmonalis* untuk kembali ke atrium kiri jantung.

3. Sirkulasi Portal

Darah dari lambung, usus, pankreas, dan limpa dikumpulkan vena portal (pembuluh gerbang). Setelah itu, darah akan melewati hati.(liver) yang sebelumnya dari aorta *hepatika*, untuk dibersihkan dari racun-racun yang diserap. Selanjutnya, darah kembali ke jantung melalui pembuluh balik (vena).

2.5 *Intracranial stenosis*

Stenosis diambil dari bahasa Yunani yakni *stenos* yang berarti penyempitan, istilah stenosis lazim digunakan dalam kedokteran untuk menjelaskan suatu penyempitan pada daerah tertentu. *Intracranial stenosis* adalah penyempitan arteri di dalam otak. Arteri yang paling mungkin terkena stenosis adalah arteri karotis interna (ICA), arteri serebral tengah (MCA), arteri vertebralis, dan arteri basilar. Mirip dengan stenosis karotis di leher, stenosis terjadi karena ada penumpukan plak di dinding dalam pembuluh darah. Penyempitan pembuluh darah ini menyebabkan penurunan aliran darah ke daerah otak sehingga bagian pasokan pembuluh darah yang terkena.



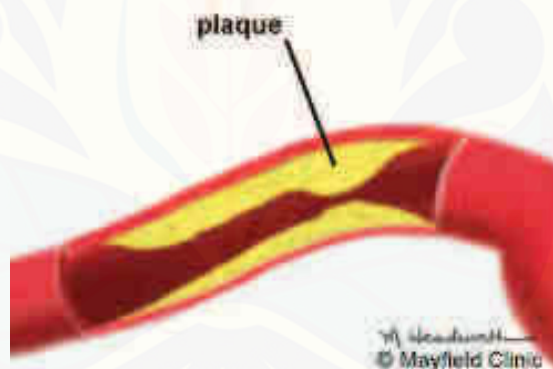
Gambar 2.6 Sirkulasi Otak
(sumber: mayfieldclinic.com)

Gambar 2.6 merupakan bentuk anatomi dari otak. Darah dibawa ke otak

oleh dua arteri berpasangan, arteri karotid internal dan arteri vertebralis (Gambar 2.6). Arteri karotid internal memasok area depan dan arteri vertebra memasok area belakang otak. Setelah melewati tengkorak, arteri vertebral kanan dan kiri bergabung bersama untuk membentuk arteri basilar tunggal. Arteri basilar dan arteri karotid internal "communicate" satu sama lain dalam sebuah cincin di dasar otak yang disebut *Circle of Willis*.

Terdapat tiga cara di mana arteri *Intracranial stenosis* dapat menyebabkan stroke:

1. Plak bisa tumbuh lebih besar dan lebih besar sehingga arteri menyempit dan mengurangi aliran darah ke otak (Gambar 2.7). Ketika hal itu terjadi, plak akhirnya bisa sepenuhnya memblok (menutup) arteri.
2. Plak dapat mengeras dan merusak dinding arteri sehingga menyebabkan penggumpalan darah terbentuk dan menghalangi aliran darah ke otak.
3. Plak bisa pecah dan lepas maka plak tersebut berjalan ke hilir untuk masuk ke arteri yang lebih kecil dan menghalangi aliran darah ke otak.



Gambar 2.7 Penyempitan Arteri oleh plak
(sumber: mayfieldclinic.com)

Salah satu bentuk tes pencitraan diagnostik yang dilakukan untuk mendeteksi penyempitan arteri intrakranial adalah Angiografi. Angiografi adalah tes invasif minimal yang menggunakan sinar-X dan agen kontras yang disuntikkan ke arteri melalui kateter di selangkangan. Ini memungkinkan dokter untuk memvisualisasikan semua arteri dan vena di otak. Ini membawa risiko komplikasi neurologis permanen yang rendah. Selain mengidentifikasi area penyakit, angiografi

memberikan informasi berharga tentang tingkat stenosis dan bentuk plak (Ringer, 2016).



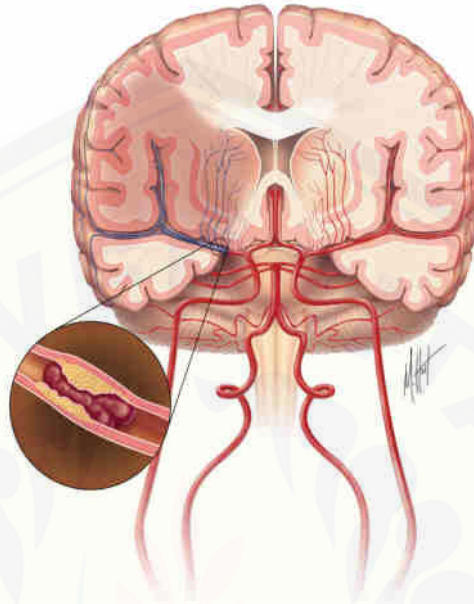
Gambar 2.8 Angiografi menunjukkan penyempitan arteri serebral tengah (panah merah) yang disebabkan oleh plak (sumber: mayfieldclinic.com)

2.6 Stroke Iskemik

Stroke iskemik adalah keadaan medis karena disfungsi atau kerusakan pada jaringan otak yang disebabkan kurangnya aliran darah ke otak sehingga mengganggu pasokan darah dan oksigen di jaringan otak (Caplan, 2000). Ketika stroke iskemik menyerang, sering kali diawali dengan terjadinya serangkain perubahan dalam otak, apabila tidak ditangani dengan cepat akan mengakibatkan kematian di bagian otak. Stroke ini sering diakibatkan oleh trombosis akibat plak aterosklerosis arteri otak atau suatu emboli dari pembuluh darah di luar otak yang tersangkut di arteri otak. Jenis stroke ini merupakan jenis stroke yang paling sering menyerang seseorang sekitar 80 % dari semua stroke.

Stroke iskemik bisa disebabkan oleh beberapa jenis penyakit. Masalah yang paling umum adalah penyempitan (*stenosis*) arteri di leher atau kepala. Hal ini paling sering disebabkan oleh aterosklerosis, atau deposisi kolesterol bertahap. Jika arteri menjadi terlalu sempit, sel darah bisa mengumpulkan dan membentuk bekuan darah. Bekuan darah ini bisa menghalangi arteri di mana mereka terbentuk (trombosis), atau bisa dislutkan dan terjebak dalam arteri lebih dekat ke otak (embolisme). Penyebab lain dari stroke adalah penggumpalan darah di jantung,

yang dapat terjadi sebagai akibat detak jantung tidak teratur (misalnya, atrial fibrillation), serangan jantung, atau kelainan pada katup jantung. Sementara ini adalah penyebab stroke iskemik yang paling umum, ada banyak kemungkinan penyebab lainnya. Contohnya termasuk penggunaan obat jalanan, luka traumatis pada pembuluh darah leher, atau kelainan pembekuan darah.



Gambar 2.9 Stroke iskemik terjadi saat terjadinya penyempitan pembuluh darah di otak (sumber: strokecenter.org)

2.7 CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan sebuah analisa dari suatu sistem yang melibatkan aliran fluida, transfer energi, pembakaran dan fenomena yang berkaitan dengan reaksi kimia yang menggunakan simulasi yang berbasis komputasi (Coker, 2001). Menurut Tuakia (2008:2), CFD merupakan ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika atau model matematika. Tujuan dari CFD adalah melibatkan satu atau semua fenomena tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, agar mendapatkan prediksi yang akurat.

Simulasi CFD dibagi menjadi tiga tahapan utama, yaitu:

1. *Pre-processing*

Processing merupakan tahapan awal dalam membangun serta menganalisis sebuah model CFD (Tuakia, 2008:6). Pada proses ini model akan dibentuk sedemikian rupa sehingga terdapat beberapa bagian untuk memberikan batasan-batasan aliran fluida yang dijalankan serta membuat model menjadi suatu objek yang akan dialiri oleh fluida. Pada tahap ini beberapa hal yang perlu dilakukan ialah :

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

2. *Solver Manager*

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

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

3. *Postprocessing*

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

Perlu pemahaman yang baik untuk menyelesaikan algoritma penyelesaian numerik. Oleh karena itu, terdapat tiga konsep matematika dalam menentukan berhasil atau tidaknya algoritma (Versteeg dan Malalasekera, 1995):

1. Konvergensi

Konvergensi adalah properti metode numerik untuk menghasilkan suatu solusi yang mendekati solusi eksak sebagai grid spacing, ukuran kontrol volume atau ukuran elemen dikurangi mendekati nol.

2. Konsisten

Konsisten adalah suatu skema numerik yang menghasilkan sistem persamaan aljabar yang dapat diperlihatkan ekuivalen dengan persamaan pengendali sebagai grid spasi mendekati nol.

3. Stabilitas

Stabilitas merupakan penggunaan faktor kesalahan sebagai indikasi metode numerik. Sebuah teknik tidak stabil dalam setiap kesalahan pembulatan bahkan dalam data awal dapat menyebabkan osilasi atau divergensi.

2.8 Penyempitan Aliran Darah di Otak Akibat *Ischemic Stroke*

Stroke bisa menyerang orang dari segala umur, termasuk anak-anak. Stroke dapat disebabkan oleh pembuluh darah otak yang mengalami penyempitan (stenosis) akibat suatu plak. Jenis stroke tersebut ialah stroke iskemik. Bila dibiarkan, jaringan sel-sel otak di daerah tersebut akan mati dan tidak berfungsi lagi. Hal lain yang mengerikan dari stroke meliputi kelumpuhan sebagian organ, koma hingga kematian. Stroke iskemik bisa disebabkan oleh beberapa jenis penyakit. Akan tetapi, Salah satu biang keladi penyebab stroke iskemik adalah penyempitan arteri di kepala atau *Intracranial stenosis*.

Menurut Kusminarto (2007) bahwa hubungan penyempitan pembuluh darah dengan hukum fisika yaitu Hukum Poiseuille. Hukum Poiseuille dalam fisika menjelaskan hubungan antara debit cairan, yaitu volume cairan yang mengalir tiap detik, kekentalan cairan panjang saluran, radius saluran dan beda tekanan ujung-ujung saluran dalam persamaan:

$$Q = \frac{\pi P r^4}{8 \eta l} \tag{2.1}$$

dengan :

Q = debit

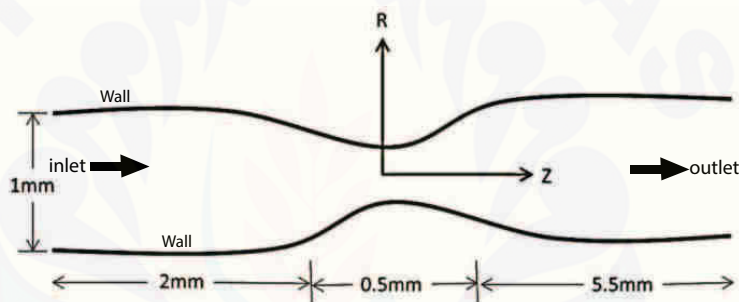
P = tekanan

r = jari-jari

η = kekentalan cairan

l = panjang saluran

Menurut (Roy dkk., 2017) bahwa ada berbagai faktor internal dan eksternal yang menimbulkan pembentukan stenosis. Diasumsikan bahwa penyempitan terbentuk dalam arteri secara simetris radial dimana penebalan di bagian atas dan bawahnya sama serta gesekan pada dinding pembuluh darah diabaikan, unsteady, dan aliran darah laminar selama penelitian berlangsung (Gambar 2.10).



Gambar 2.10 Diagram Skematik dari Arteri Stenosis

Model matematika untuk jari jari pada penyempitan pembuluh darah arteri tersebut dinyatakan sebagai berikut:

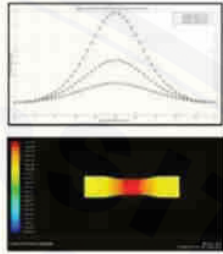
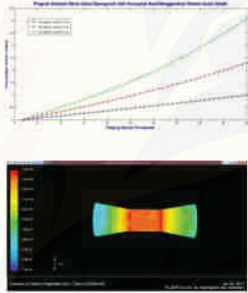
$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \tag{2.2}$$

$$p \left(\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_k \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \right) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial p}{\partial x_i} \tag{2.3}$$

2.9 Penelitian yang Relevan

Penelitian tentang analisis model matematika aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* akibat *ischemic stroke* ini merupakan pengembangan dari beberapa penelitian yang sudah ada. Tabel berikut merupakan tabel penelitian yang relevan.

Tabel 2.1 Tabel Penelitian yang Relevan

No	Model Matematika	Simulasi CFD	Publikasi
1	$\phi_w \rho \Delta t (u - 1) + \phi_e \rho \Delta t (1 - u) = -p \Delta t + 2\mu \frac{u}{\Delta x} \Delta t$ <p>dimana</p> $P = \frac{Q8\eta l}{\pi r^4}$		Zauri, A.S., 2014. Analisis Numerik Aliran Darah Pada Penyempitan Pembuluh Darah Arteri Menggunakan Metode Volume Hingga. Skripsi. Jember: Program Studi Pendidikan Matematika FKIP
2	$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial \rho v \phi_y}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho \frac{\partial g}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(2\mu \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right) \right)$ <p>dimana</p> $P = \frac{Q8\eta l}{\pi r^4}$		Aisyah, S., 2017. Analisis Numerik Aliran Udara Pada Penyempitan Saluran Pernapasan Akibat Penyakit Gondok Menggunakan Metode Elemen Hingga Sebagai Monograf. Skripsi. Jember: Program Studi Pendidikan Matematika FKIP

Penelitian ini akan menggunakan model matematika sesuai dengan literatur. Oleh karena itu, desain arteri yang digunakan adalah *middle cerebral artery* (MCA) yang terkena *Ischemic stroke* dan metode penyelesaian yang digunakan adalah metode elemen hingga sehingga berbeda dengan penelitian yang relevan sebelumnya.

2.10 Metode Elemen Hingga

Fatahillah (2011) menyatakan Metode elemen hingga adalah salah satu metode pendekatan numerik yang mendasarkan permasalahan pada tiap-tiap elemen bagian yang dinamakan elemen hingga. Jadi metode elemen hingga adalah suatu metode pendekatan numerik yang digunakan untuk memecahkan permasalahan-permasalahan mekanika kontinum yang didasarkan pada tiap-tiap elemen bagian yang disebut elemen hingga.

Metode elemen hingga berlaku untuk semua jenis persamaan diferensial parsial linier dan nonlinier dalam fisika dan teknik. Konsep metode elemen hingga adalah dengan menyelesaikan suatu permasalahan dengan cara membagi daerah obyek yang di analisa menjadi bagian-bagian kecil (*nodes*) yang terhingga, seperti segitiga atau segiempat. Bagian-bagian kecil (*nodes*) tersebut kemudian dianalisa dan solusinya digabungkan kembali untuk mendapatkan penyelesaian untuk keseluruhan daerah (White, 2011:580). Penyelesaian metode elemen hingga dilakukan dengan pendekatan kuadratik.

Bentuk penyelesaian dari metode elemen hingga memiliki bentuk persamaan matriks:

$$[E]\{q\} + [E_t]\{\dot{q}\} = \{Q\}$$

dengan

$[E], [E_t]$ = matrik sifat rakitan

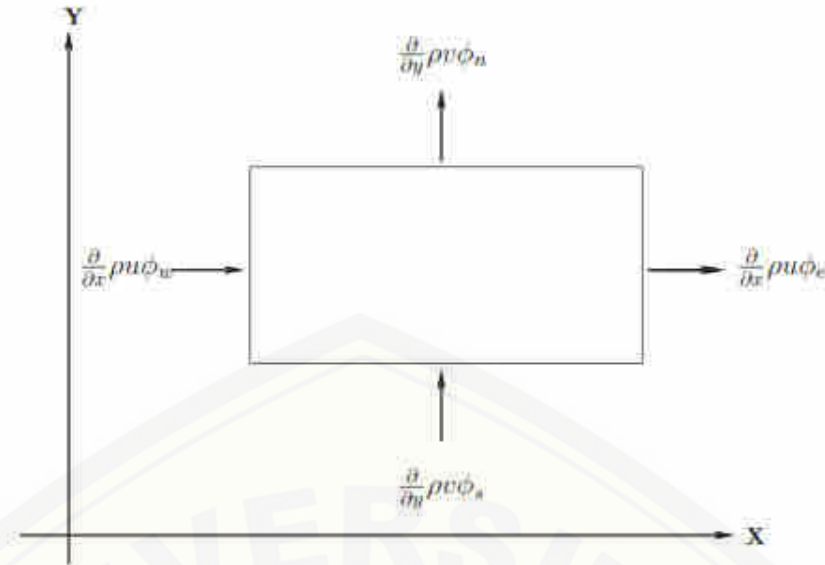
q = vektor dari besaran simpul yang diketahui

Q = vektor parameter pemaksa elemen

2.10.1 Persamaan Momentum

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

Fluks pada momentum terjadi pada empat sisi sesuai dengan Gambar 2.11 yaitu dua masuk dan dua keluar. F adalah gaya-gaya yang bekerja pada volume kendali yaitu *pressure* / tekanan (p), gravitasi (g), dan gaya kekentalan (μ).



Gambar 2.11 Bagan Volume Kendali Persamaan Momentum

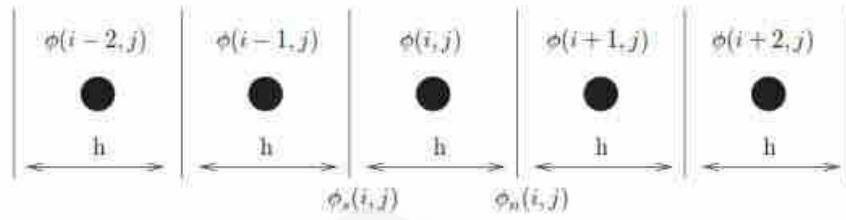
Bentuk umum persamaan momentum adalah:

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + [\text{pure rate}] = \sum F \quad (2.4)$$

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

Bentuk geometri dari aliran fluida pada masing-masing domain dibuat dalam bentuk *grid*. *Grid* dari domain dapat berupa *grid* yang berstruktur ataupun *grid* dalam koordinat kartesius atau *grid* non kartesius. Masing-masing *grid* memiliki kontrol bidang (*face*) dan kontrol titik (*node*). Kontrol bidang untuk tiga dimensi terdiri dari $\phi_w, \phi_e, \phi_s, \phi_n, \phi_b, \phi_t$ sedangkan kontrol titik terdiri dari $\phi_W, \phi_E, \phi_S, \phi_N, \phi_B, \phi_T$. Model matematika dalam penelitian ini akan dibuat dua dimensi sirkulasi aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* akibat *Ischemic stroke* (arah sumbu x,y). Kontrol *face* untuk dua dimensi terdiri dari $\phi_w, \phi_e, \phi_s, \phi_n$ sedangkan kontrol titik terdiri dari $\phi_W, \phi_E, \phi_S, \phi_N$ (Fatahillah, 2014).

Pendiskritisasian dengan menggunakan metode *QUICK* untuk merubah nilai pada bidang menjadi nilai pada titik, diilustrasikan seperti pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Diskritisasi QUICK

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

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

dengan bobot g_1 :

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

sedangkan bobot untuk g_2 :

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

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

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

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

Substitusikan nilai g_1 dan g_2 ke Persamaan (2.5), sehingga diperoleh rumus

untuk $\phi_n(i, j)$:

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

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

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

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

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

2.12 Metode Eliminasi Gauss-Seidel

Secara umum, penyelesaian suatu persamaan linier dapat digunakan menggunakan dua metode yaitu metode langsung dan metode iteratif. Contoh metode langsung yaitu metode invers, eliminasi Gauss, dan dekomposisi LU. Sedangkan metode iteratif merupakan metode dengan penentuan nilai awal (x_0) untuk membangun urutan aproksimasi terbaik dalam pemecahan eksak. Contoh metode iteratif yaitu iterasi Jacob, iterasi Gauss-Seidel, dan iterasi SOR.

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

$$AX = B \quad (2.14)$$

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

$$QX = (Q - A)X + B \quad (2.15)$$

Selanjutnya, dapat dituliskan dalam bentuk iterasi ke- k :

$$QX^{(k)} = (Q - A)X^{(k-1)} + B, k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.16)$$

Sebuah matriks A dapat dituliskan dalam bentuk $A = L + D + U$, dengan L merupakan matriks segitiga bawah, D merupakan matriks diagonal, dan U merupakan matriks segitiga atas. Iterasi Gauss-Seidell dipilih $Q = D + L$, tetapi pada iterasi SOR dipilih $Q = \frac{1}{\omega}D + L$ dengan ω merupakan faktor skala. Sehingga persamaan (2.16) menjadi:

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{\omega}DX^{(k)} &= -LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1 \right) D + D + L - A \right) X^{(k-1)} + B \\
 \frac{1}{\omega}DX^{(k)} &= -LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1 \right) D - U \right) X^{(k-1)} + B \\
 \omega D^{-1} \left(\frac{1}{\omega} DX^{(k)} \right) &= \omega D^{-1} \left[-LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1 \right) D - U \right) X^{(k-1)} + B \right] \\
 X^{(k)} &= \omega D^{-1} \left[-LX^{(k)} + \left(\frac{1}{\omega} D - D - U \right) X^{(k-1)} + B \right] \\
 X^{(k)} &= -\omega D^{-1} LX^{(k)} + (1 - \omega - \omega D^{-1}U) X^{(k-1)} + \omega D^{-1}B \\
 X^{(k)} &= (1 - \omega)X^{(k-1)} - \omega D^{-1}LX^{(k)} - \omega D^{-1}UX^{(k-1)} + \omega D^{-1}B \\
 X^{(k)} &= (1 - \omega)X^{(k-1)} - \omega D^{-1} (LX^{(k)} + UX^{(k-1)} - B) \quad (2.17)
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\
 a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\
 a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + \dots + a_{3n}x_n &= b_3 \\
 &\vdots \\
 a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + a_{n3}x_3 + \dots + a_{nn}x_n &= b_n
 \end{aligned} \quad (2.18)$$

dapat dituliskan dalam bentuk pemecahan mulai x_1 sampai x_n seperti berikut

:

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

dengan k = iterasi.

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

$$x_i^k = \frac{1}{a_{ii}} \left(b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij}x_j^k - \sum_{j=1+1}^n a_{ij}x_j^{k-1} \right) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \tag{2.20}$$

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

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

Pada Persamaan (2.17) dan Persamaan (2.21), untuk $\omega = 1$ akan diperoleh metode Gauss-Seidel. Metode Gauss-Seidel inilah yang digunakan untuk menyelesaikan sistem persamaan linier yang muncul dalam penyelesaian numerik dari persamaan diferensial parsial tertentu. Untuk $0 < \omega < 1$, proses tersebut dinamakan metode *underrelaxation* dan dapat digunakan untuk memperoleh konvergensi dari beberapa sistem persamaan linier yang tidak konvergen oleh metode Gauss-Seidel. Untuk $\omega > 1$, prosesnya dinamakan metode *overrelaxation* dan da-

pat digunakan untuk mempercepat konvergensi bagi sistem persamaan linier yang konvergen oleh metode Gauss-Seidel. Penelitian ini menggunakan iterasi Gauss-Seidel, dengan menggunakan nilai awal x_0 untuk membangun urutan aproksimasi dalam pemecahan eksak.

2.13 Algoritma dan Pemograman *MATLAB*

2.13.1 Algoritma

Pemecahan suatu masalah pada hakekatnya adalah menemukan langkah-langkah tertentu yang jika dijalankan efeknya akan memecahkan masalah tersebut. Algoritma merupakan urutan langkah-langkah yang dinyatakan secara jelas dan tidak rancu untuk memecahkan suatu masalah (jika ada pemecahannya) dalam rentang waktu tertentu (Sahid, 2005:2). Secara umum langkah-langkah pada algoritma dibagi menjadi tiga yaitu masukkan (*input*), proses, dan keluaran (*output*).

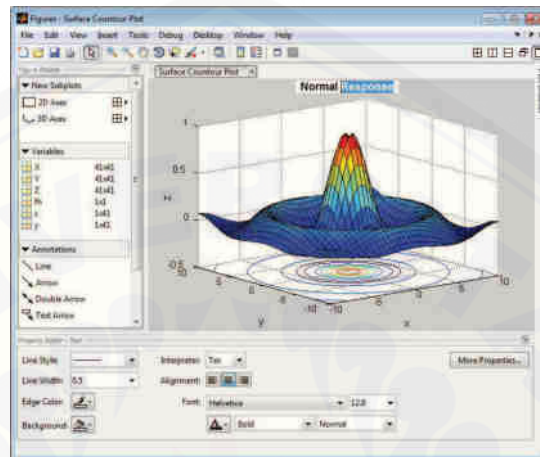
Algoritma terdapat di dalam berbagai cabang ilmu komputer. Peran komputer disini hanyalah salah satu proses sedangkan agar algoritma dapat dilaksanakan oleh komputer, algoritma tersebut harus ditulis dalam notasi bahasa pemrograman sehingga dinamakan program. Jadi program merupakan perwujudan atau implementasi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

2.13.2 *MATLAB 7.0 (Matrix Laboratory)*

MATLAB merupakan perangkat lunak yang sangat cocok sebagai alat komputasi yang penggunaannya melibatkan matriks dan vektor (Siang, 2004). *MATLAB* merupakan kepanjangan dari *Matrix Laboratory* karena elemen data dasar yang digunakan yaitu sebuah matriks. *MATLAB* adalah sebuah software yang digunakan dalam analisis serta komputasi data numerik, menganalisis data, mengembangkan algoritma, melakukan simulasi dan pemodelan serta menghasilkan tampilan grafik dan antarmuka grafikal. *MATLAB* juga mampu menampilkan suatu data dalam bentuk dua dimensi maupun tiga dimensi. *MATLAB* memiliki *toolbox* yang berfungsi dalam menyelesaikan permasalahan umum berbasis matematika. Fungsi *MATLAB* yang banyak digunakan yaitu:

- pengembangan dan algoritma;

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



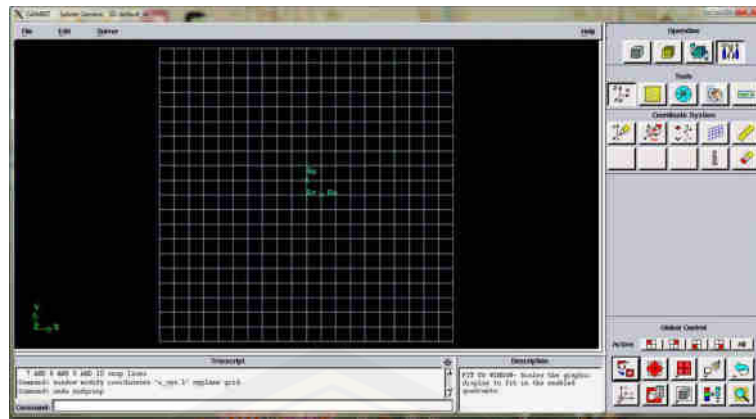
Gambar 2.13 Tampilan MATLAB 7.0
www.mathworks.com

2.14 Perangkat Lunak CFD

CFD merupakan sistem analisis dengan cara simulasi berbasis komputer. Oleh karena itu, sangatlah penting untuk penggunaan perangkat lunak (*software*) dalam menjalankan sistem analisis CFD.

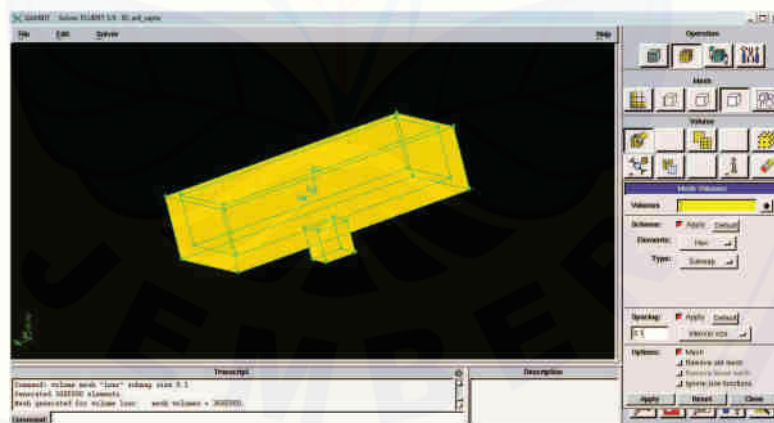
2.14.1 GAMBIT

GAMBIT 2 (*Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit*) merupakan salah satu *pre-processor* yang didesain untuk membantu membuat model dan melakukan diskritisasi (*meshing*) pada model untuk analisis CFD (Tuakia, 2008:9). GAMBIT sangat penting dalam mengkonstruksi suatu model secara geometris. *Software* ini memiliki beberapa alat (*tools*) yang dapat digunakan dalam mengkonstruksi bentuk-bentuk geometri secara teratur maupun tidak teratur serta menganalisis suatu objek.



Gambar 2.14 Tampilan Awal GAMBIT 2

Gambar 2.14 merupakan tampilan awal dari *software* GAMBIT versi 2. GAMBIT dapat membuat model dan melakukan diskritisasi (*meshing*) dalam berbagai macam bentuk baik secara 2 dimensi maupun 3 dimensi, bahkan untuk bentuk yang rumus dan tidak beraturan. Hal ini dikarenakan GAMBIT dapat melakukan *meshing* dengan berbagai macam *mesh* yaitu *mesh* heksahedral terstruktur maupun tidak terstruktur, tetrahedral, piramid, dan prisma. *Meshing* berguna dalam membagi model geometri dari objek yang diteliti sehingga mempermudah peneliti melakukan komputasi. Proses akhir dari penggunaan GAMBIT adalah penentuan jenis kondisi batas (*boundary condition*).

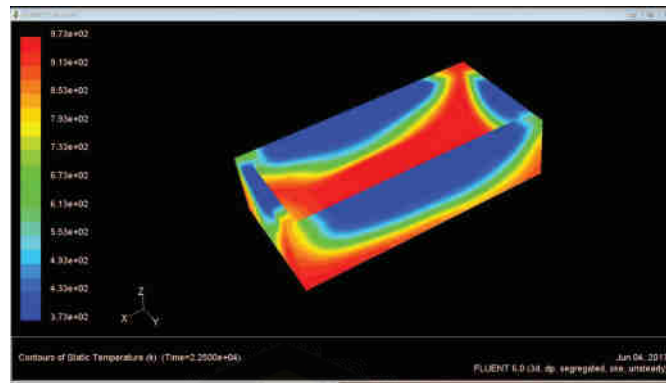
Gambar 2.15 Contoh *meshing* pada GAMBIT 2

2.14.2 FLUENT 6.0

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

1. pembuatan geometri dan *mesh* pada model;
2. memilih *solver* yang tepat untuk model tersebut yaitu 2 dimensi atau 3 dimensi;
3. mengimpor *mesh* model yang telah dibuat menggunakan GAMBIT;
4. melakukan pemeriksaan pada *mesh* model;
5. memilih *solver*;
6. memilih persamaan dasar yang dipakai dalam proses analisis, misalnya laminar, turbulen, reaksi kimia, perpindahan kalor, dan lain-lain;
7. menentukan sifat material yang akan dipakai;
8. menentukan kondisi batas;
9. mengatur parameter kontrol solusi;
10. *initialize the flow field*;
11. melakukan perhitungan/iterasi;
12. memeriksa hasil iterasi;
13. menyimpan hasil iterasi.

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



Gambar 2.16 Hasil Simulasi FLUENT 6.0

2.15 Galat atau *Error*

Galat atau biasa disebut *error* (kesalahan) adalah selisih antara nilai sejati (nilai sebenarnya) dengan nilai pendekatannya (aproksimasi). Nilai pendekatan diperoleh menggunakan metode numerik dengan dengan proses iterasi (*looping*) untuk mendapatkan nilai yang mendekati sebenarnya. Suatu metode numerik dikatakan efektif jika nilai galat tersebut kecil (mendekati nol). Walaupun nilai galat besar bukan berarti hasil yang didapat dengan metode numerik salah, karena galat tersebut dapat ditekan sekecil mungkin sehingga hasil yang didapat sangat mendekati nilai sebenarnya.

Galat dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Galat pemotongan (*truncation error*) adalah galat yang ditimbulkan oleh pembatasan jumlah komputasi yang digunakan pada proses metode numerik. Banyak metode dalam metode numerik yang penurunan rumusnya menggunakan proses iterasi yang jumlahnya tak terhingga, sehingga untuk membatasi proses perhitungan, jumlah iterasi dibatasi sampai langkah ke n . Hasil perhitungan sampai langkah ke n akan menjadi hasil hampiran dan nilai perhitungan langkah n keatas akan menjadi galat pemotongan. Galat pemotongan akan menjadi sangat kecil ekali jika nilai n di perbesar. Konsekuensinya jumlah proses perhitungan semakin banyak.
2. Galat pembulatan (*round-off error*) adalah galat yang ditimbulkan oleh keterbatasan komputer dalam penyajian bilangan real. Hampir semua proses perhitungan metode numerik menggunakan bilangan real. Penyajian bilangan real yang panjangnya tak hingga tidak dapat disajikan secara tepat

sehingga terjadilah galat pembulatan.

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

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

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

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

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

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

$$P_R = 100E_R$$

3. **Galat Global**

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

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

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

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

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

persamaan diatas menjadi:

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

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

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

4. Galat dalam Aproksimasi deret

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

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

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

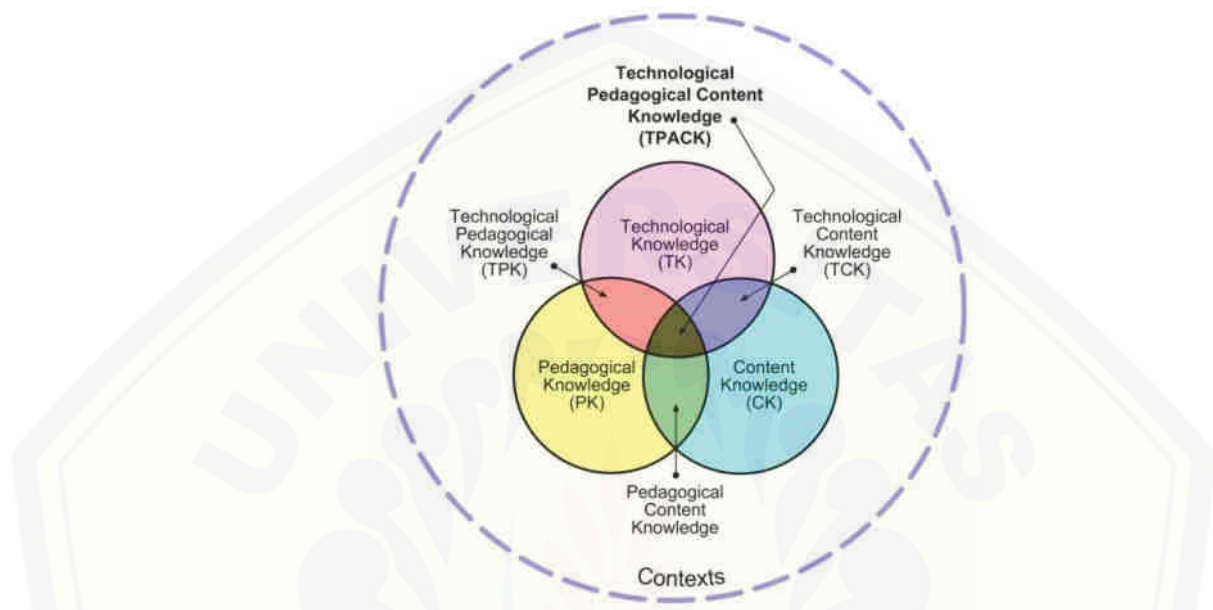
$$R_n(x) = \frac{(x - a)^n}{n!}f^n(a), \quad a < \alpha < x$$

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

2.16 *Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)*

Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) muncul secara formal pada jurnal pendidikan pada tahun 2003. Akan tetapi, baru diperkenalkan pada tahun 2005. Awalnya *Technological Pedagogical Content Knowledge* disingkat TPCK namun berganti menjadi TPACK untuk memudahkan dalam pengucapannya (Chai dkk, 2013). *Technological Pedagogical Content Knowledge*

(TPACK) merupakan bentuk pengembangan dari *Pedagogical Content Knowledge* (PCK)-nya (Shulman, 1987). Tiga kajian pengetahuan utama dalam *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) adalah *technological knowledge*, *content knowledge*, dan *pedagogical knowledge* serta interaksi diantara setiap dua pengetahuan tersebut dan diantara semua pengetahuan tersebut (Koehler dkk, 2013).



Gambar 2.17 Kohlers (2013) TPACK *Framework*

Menurut Rosyid (2016) *Technological Pedagogical Content Knowledge* merupakan pendeskripsian pengetahuan yang diintegrasikan dari setiap bidang pengetahuan yang telah diuraikan dari *Technological Knowledge*, *Content Knowledge*, *Pedagogical Knowledge*, *Pedagogical Content Knowledge*, *Technological Content Knowledge*, dan *Technological Pedagogical Knowledge*, dengan fokus kepada bagaimana teknologi bisa dibuat dengan khas untuk dihadapkan pada kebutuhan pedagogis untuk mengajar konten yang tepat dalam konteks tertentu. Setiap unsur dari bidang pengetahuan tersebut menggambarkan sebuah kebutuhan dan pentingnya aspek tersebut dalam mengajar. Tetapi untuk pengajaran yang efektif membutuhkan lebih dari setiap bagian tersebut. *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK), pengetahuan teknologi, pedagogi, dan konten diintegrasikan dan digunakan untuk desain pengalaman belajar siswa bagi guru.

Bagian pada penelitian ini yaitu : *Technological Knowledge* (TK), *Content Knowledge* (CK) dan *Technological Content Knowledge*. *Technological Knowledge* (TK) yakni dasar-dasar teknologi yang dapat dimanfaatkan untuk mensupport pembelajaran. Misalnya *software* Matlab dan Fluent. *Content Knowledge* (CK) yakni pengetahuan tentang materi pelajaran yang akan dipelajari. Materi dalam penelitian ini adalah pemodelan aliran darah. *Technology Content Knowledge* (TCK) merupakan pemahaman teknologi dan materi pelajaran yang dapat membantu serta mempengaruhi komponen-komponen yang lain.



BAB 3. METODE PENELITIAN

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

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian analisis numerik aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* penyebab *ischemic stroke* merupakan penelitian simulasi. Menurut Syaefudin dan Syamsuddin (2005), simulasi adalah sebuah replikasi / visualisasi dari perilaku sebuah sistem, contohnya sebuah perencanaan pendidikan, yang berjalan pada kurun waktu yang tertentu. Secara umum, simulasi itu merupakan sebuah model yang berisi seperangkat variabel yang menampilkan ciri utama dari sistem kehidupan nyata. Penelitian simulasi bertujuan untuk mencari gambaran melalui sebuah sistem berskala kecil (model) dimana di dalam model tersebut akan dilakukan manipulasi atau kontrol untuk melihat pengaruhnya. Simulasi memungkinkan keputusan-keputusan yang menentukan bagaimana ciri-ciri utama itu bisa dimodifikasi secara nyata. Pada penelitian ini, peneliti memodelkan aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* akibat *ischemic stroke* tersebut menggunakan metode elemen hingga sehingga didapat hasil atau data-data yang mendekati keadaan sebenarnya.

3.2 Definisi Operasional

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

1. Model Matematika

Pemodelan Matematika merupakan bidang matematika yang merepre-

sentasikan dan menjelaskan sistem-sistem fisik / permasalahan pada dunia nyata dalam pernyataan matematis, sehingga diperoleh pemahaman dari permasalahan dunia nyata ini menjadi lebih tepat (Widowati dan Sutimin, 2007). Model Matematika adalah bentuk dari representasi matematika yang dihasilkan pemodelan Matematika.

2. *Intracranial stenosis*

Intracranial stenosis adalah penyempitan arteri di dalam otak. Penyempitan pembuluh darah ini menyebabkan penurunan aliran darah ke daerah otak sehingga pasokan energi dan oksigen ke pembuluh darah berkurang. Salah satu penyebab utama terjadinya penyempitan pembuluh diri ini adalah penumpukan plak. (Ringer, 2016).

3. *Ischemic Stroke*

Ischemic Stroke atau Stroke Iskemik merupakan jenis stroke yang disebabkan adanya sumbatan pada pembuluh darah di otak pada bagian tertentu sehingga pembuluh darah pada bagian tersebut tidak mendapatkan pasokan energi dan oksigen. Bila dibiarkan jaringan sel-sel otak di daerah tersebut akan mati dan tidak berfungsi lagi. ("The Stroke Center," 2017).

4. CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

CFD (*Computational Fluid Dynamics*) adalah salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisis aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena terkait seperti reaksi kimia dengan simulasi berbasis komputer.

5. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga berlaku untuk semua jenis persamaan diferensial parsial linier dan nonlinier dalam fisika dan teknik. Konsep metode elemen hingga adalah dengan menyelesaikan suatu permasalahan dengan cara membagi daerah obyek yang di analisa menjadi bagian-bagian kecil (*nodes*) yang terhingga, seperti segitiga atau segiempat. Bagian-bagian kecil (*nodes*) tersebut kemudian dianalisa dan solusinya digabungkan kembali untuk mendapatkan penyelesaian untuk keseluruhan daerah(White, 2011:580).

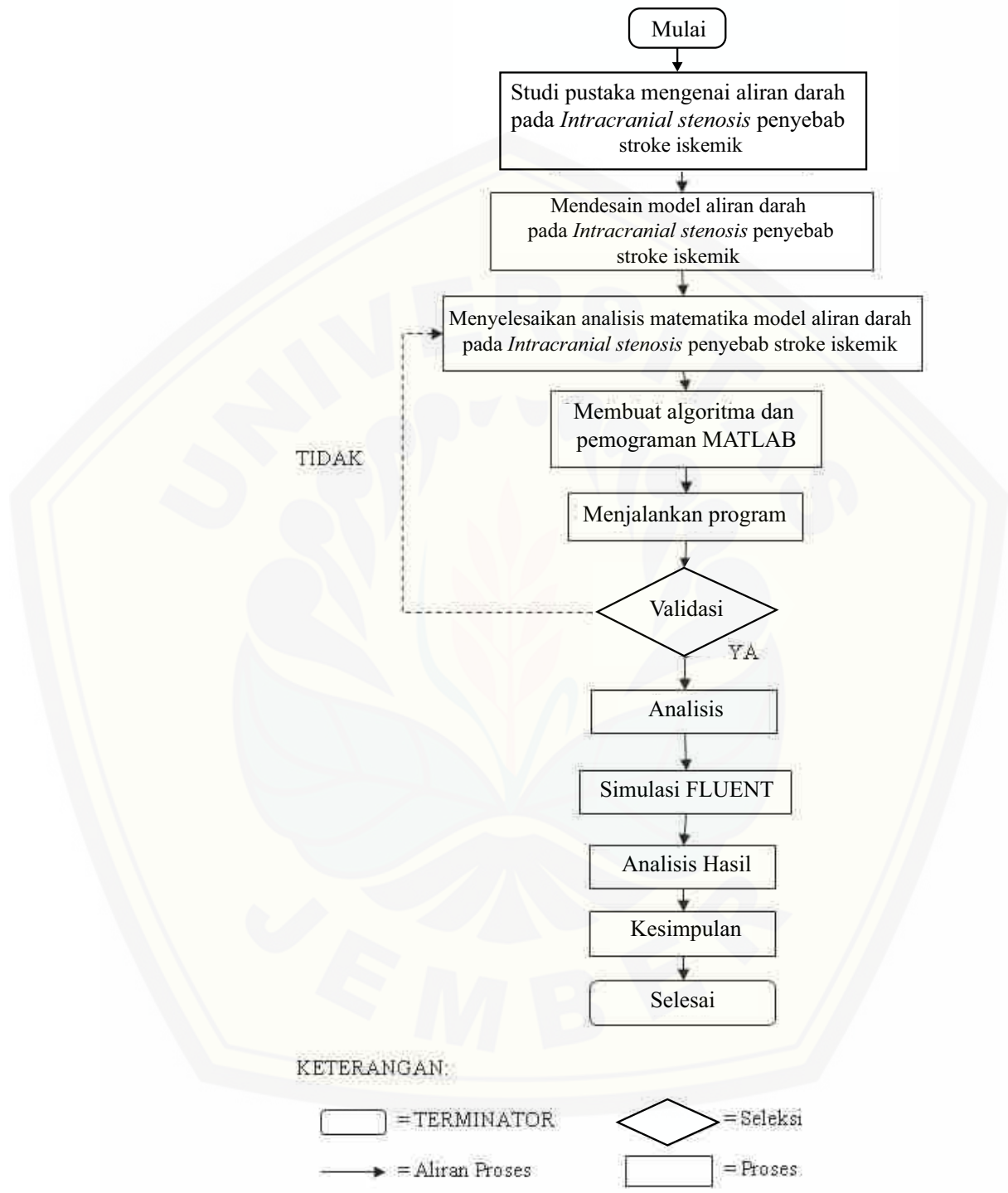
3.3 Prosedur Penelitian

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

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

1. melakukan studi pustaka tentang aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* penyebab *Ischemic Stroke*;
2. membuat model matematika aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* penyebab *Ischemic Stroke*;
3. menyelesaikan model matematika aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* penyebab *Ischemic Stroke* menggunakan metode elemen hingga;
4. membuat algoritma dari model matematika menggunakan MATLAB;
5. menganalisa algoritma dari model matematika aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* penyebab *Ischemic Stroke* menggunakan MATLAB;
6. mensimulasikan model aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* penyebab *Ischemic Stroke* FLUENT;
7. menganalisa hasil dari penyimulasian menggunakan ANSYS Fluent;
8. menarik kesimpulan dari hasil simulasi.

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



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

3.4 Tempat Penelitian

Tempat penelitian adalah tempat yang menjadi pusat pelaksanaan suatu kegiatan dimana penelitian dilakukan. Tempat penelitian untuk penyelesaian numerik dan pemodelan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dilakukan di laboratorium matematika gedung III FKIP dan di laboratorium Program Studi Sistem Informasi Universitas Jember. Tempat yang digunakan telah tersedia sarana dan prasarana yang mendukung berupa komputer yang dilengkapi dengan program MATLAB untuk penyelesaian numerik dan ANSYS Fluent untuk simulasi pemodelan serta berbagai sumber-sumber elektronik lainnya.

3.5 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data merupakan suatu teknik atau cara yang dilakukan untuk mengumpulkan data. Metode menunjuk suatu cara sehingga dapat diperlihatkan penggunaannya melalui angket, wawancara, pengamatan, tes, dokumentasi dan sebagainya (Sarwono, 2006).

Penelitian ini menggunakan metode dokumentasi sebagai metode pengumpulan data. Metode dokumentasi merupakan metode pengumpulan data yang berupa hal-hal atau variabel yang terdiri dari catatan, transkrip, buku, surat kabar, majalah, prasasti, notulen rapat, agenda, dan lain sebagainya (Arikunto, 2006). Peneliti akan memperoleh data yang diinginkan dengan mempelajari buku, jurnal ilmiah serta berbagai data yang diambil dari catatan dan data-data dari internet mengenai aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* penyebab stroke iskemik. Data-data yang akan diambil melalui literatur antara lain : kecepatan awal, ketebalan plak, jari-jari arteri, dsb.

3.6 Data dan Analisis Data

Analisis data merupakan suatu langkah yang sangat penting dalam mengolah data sehingga dapat menghasilkan suatu kesimpulan yang akurat. Data yang dikumpulkan selanjutnya diklasifikasikan dan diorganisasikan secara sistematis serta diolah dan dianalisis secara logis menurut rancangan penelitian yang telah ditetapkan. Analisis data diarahkan untuk memberi argumentasi atau penjelasan mengenai tujuan yang diajukan dalam penelitian, berdasarkan data atau fakta yang diperoleh. Data yang telah dikumpulkan oleh peneliti tidak akan ada gu-

nanya apabila tidak dianalisis terlebih dahulu.

Setelah mencari model aliran darah pada penyempitan pembuluh arteri di otak bagian serebral tengah yang mengalami iskemik stroke, langkah berikutnya menyelesaikan menggunakan metode elemen hingga. Kemudian, mendiskritisasi dengan teknik QUICK, hingga didapatkan matriks yang menyatakan persamaan secara numerik menggunakan MATLAB. Solusi dalam penyelesaian ini akan didapatkan penyelesaian yang konvergen sehingga mendekati penyelesaian eksak dari persamaan diferensialnya.

Apabila perhitungan MATLAB terdapat eror yang kecil antara perhitungan MATLAB dengan nilai sebenarnya, maka hasil yang didapat sudah benar. Akan tetapi, apabila hasil dari perhitungan MATLAB dengan sebenarnya terjadi perbedaan signifikan, maka akan dicari kesalahan saat memodelkan dan validasi ulang proses penurunan rumus dan juga penyelesaian dengan MATLAB hingga didapat hasil yang benar. *Error* yang digunakan dalam penelitian adalah *Error Relative*. Batasan untuk eror adalah 0,01. *Error* 0,01 telah dapat menggambarkan akurasi yang baik karena kesalahan tersebut hanya 1% sehingga menandakan kesalahan tersebut cukup kecil.

Setelah melakukan simulasi model matematika aliran darah pada penyempitan pembuluh arteri di otak bagian serebral tengah yang mengalami iskemik stroke, maka keakurasian model tersebut dapat ditentukan menggunakan eror relatif. Kemudian model ini akan disimulasi pada ANSYS Fluent 6.0 dan akan ditampilkan simulasi aliran darah pada pembuluh arteri di otak bagian serebral tengah yang mengalami iskemik stroke tersebut secara 2 dimensi. Outputnya akan berupa gambar kontur 2 dimensi aliran darah pada penyempitan pembuluh arteri di otak bagian serebral tengah yang mengalami iskemik stroke.

Hasil dari analisis untuk mengasah TCK melalui 3 bagian yaitu TK (*Technological Knowledge*), PK (*Pedagogical Knowledge*) dan CK (*Content Knowledge*). Mengasah kemampuan TK (*Technological Knowledge*) melalui penggunaan software MATLAB 7.0 dan FLUENT 6.0 untuk mencari penyelesaian dan mensimulasikan model matematika dari aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* akibat *Ischemic Stroke*. Mengasah kemampuan CK (*Content Knowledge*) melalui analisis kecepatan aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* penyebab *Ischemic Stroke*. Mengasah *Technology Content Knowledge* (TCK) dengan mela-

kukan proses penggunaan MATLAB dan FLUENT untuk mengerjakan pemodelan aliran darah.

3.7 Instrumen Validasi

Instrumen validasi digunakan peneliti untuk memperoleh tingkat kevalidan untuk mengasah TCK dalam analisis numerik aliran darah. Instrumen validasi yang digunakan adalah validasi ke mahasiswa yang sudah melakukan penelitian di bidang pemodelan dan dosen.

3.8 Metode Analisis Validasi

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

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

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

Keterangan :

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

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

j : validator ke-

i : indikator ke-

v : banyak validator

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

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n I_{ji}}{m}$$

Keterangan :

A_{ji} : rata-rata nilai aspek ke- i

I_{ji} : rata-rata nilai untuk aspek ke- i indikator ke- j

j : aspek ke-

i : indikator ke-

m : banyak kriteria dalam aspek ke- i

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

$$V_a = \frac{\sum_{j=1}^n A_i}{n}$$

Keterangan :

V_a : nilai rata-rata total semua aspek ke- i

i : aspek yang dinilai

n : banyak aspek

d Langkah terakhir adalah menentukan tingkat kevalidan instrumen sesuai tabel berikut.

Tabel 3.1 Tingkat Kevalidan Instrumen

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

Sumber : Hobri, 2010

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan:

1. model matematika aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* akibat stroke iskemik merupakan persamaan yang dinyatakan pada persamaan umum momentum. Berikut ini adalah persamaannya.

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial \rho u k \phi_x}{\partial x} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right)$$

dengan,

$$u = 2\bar{u} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right)$$

2. Hasil simulasi MATLAB menunjukkan semakin besar ketebalan plak maka semakin kecil luas panampang tersebut, sehingga semakin besar kecepatan aliran darah.
3. Hasil simulasi MATLAB menunjukkan semakin meningkatnya kecepatan awal yang diberikan maka kecepatan aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* juga akan semakin meningkat.
4. Metode elemen hingga merupakan metode yang efektif untuk menganalisis masalah arteri *Intracranial stenosis* akibat stroke iskemik dengan tingkat kesalahan perhitungan *error* relatif kurang dari 0.01.
5. Hasil validasi menunjukkan penelitian ini valid untuk mengasah kemampuan TCK peneliti dalam analisis model matematika kecepatan aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* akibat stroke iskemik.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis numerik kecepatan aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* akibat stroke iskemik:

1. Pemodelan aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* akibat stroke iskemik menggunakan metode elemen hingga dapat dikembangkan dalam penelitian dengan menganalisis faktor lain dari terbentuknya plak;
2. pemodelan aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* akibat stroke iskemik dapat dikembangkan lagi dengan metode yang lain;
3. Pada model simulasi aliran darah pada arteri *Intracranial stenosis* akibat stroke iskemik dapat dikembangkan dari geometri nyata penyempitan darah berbasis gambar pasien, yang bisa diambil dari gambar *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) pasien.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrei, V., Alexandrov, dan M., Clotilde, B. 2016. *The Role of Ultrasound in the Management of Cerebrovascular Disease*. URL <https://radiologykey.com/the-role-of-ultrasound-in-the-management-of-cerebrovascular-disease/>. [Diakses pada 2 November 2017].
- Arikunto, S. 2006. *Prosedur Penelitian*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Bender, E.A., 2012. *An introduction to mathematical modeling*. Courier Corporation.
- Caplan, L., 2000. *Posterior circulation ischemia: then, now, and tomorrow*. Stroke 31, 2011-2023.
- Carson, E., dan Cobelli, C., 2013. *Modelling methodology for physiology and medicine*. Newnes.
- Chai, C.S., Koh, J.H.L., Chin-Chung, T., 2013. A review of technological pedagogical content knowledge. *Journal of Educational Technology & Society*. 16.
- Coker, A.K., 2001. *Modeling of chemical kinetics and reactor design*. Gulf Professional Publishing.
- Dafik, 1999. *Matlab Dalam Matematika*. Jember FKIP.
- Dym, C.L., 2004. *1 - What Is Mathematical Modeling?, in: Principles of Mathematical Modeling (Second Edition)*. Academic Press, Burlington, 3-12.
- Fatahillah, A., Dafik, E.E.R., 2014. *The Analysis of Air Circulation on Coffee Plantation Based on the Level of Plants Roughness and Diamond Ladder Graph Cropping Pattern Using Finite Volume Method*. Unej 7, 28.
- Fatahillah, Arif. 2011. *Buku Pegangan Mata Kuliah Mathematical Modelling Computational Fluid Dynamics*. FKIP, Jember.
- Fatahillah, Arif. 2014. Analisis Numerik Profil Sedimentasi Pasir pada Pertemuan Dua Sungai Berbantuan Software FLUENT, No 3, Vol.5, hal 35-40.
- Hadi, S., 2015. *PENGERTIAN DARAH DAN FUNGSINYA*.

- Ischemic Stroke, 2017. *Internet Stroke Center*. <http://www.strokecenter.org/patients/about-stroke/ischemic-stroke/>. [Diakses pada 2 November 2017].
- Jack, 2006. *Metode Numerik*. UNILA, Lampung.
- Koehler, M.J., Mishra, P., Akcaoglu, M., Rosenberg, J., 2013. *The technological pedagogical content knowledge framework for teachers and teacher educators*. ICT integrated teacher education.
- Kusminarto, 2007. *FISIKA: PENERAPANNYA DALAM BIDANG MEDIS*. Universitas Gajah Mada 4.
- Luknanto, D., 2003. *Model Matematika*. Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Pappano, A.J., dan Wier, W.G., 2012. *Cardiovascular Physiology E-Book: Mosby Physiology Monograph Series*. Elsevier Health Sciences.
- Pearce, E.C., 1979. *Anatomi dan fisiologi untuk paramedis*. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Penelitian, B., 2013. *Riset kesehatan dasar*. Jakarta. Kementerian Kesehat RI.
- Ridwan Affandi, dkk., 1992. *Iktiologi, Suatu Pedoman Kerja Laboratorium*.
- Ringer, A., 2016. *Intracranial artery stenosis*. Mayfield. <http://www.mayfieldclinic.com/PE-IntracranialStenosis.htm>. [Diakses pada 2 November 2017].
- Rosyid, A., 2016. *Technological Pedagogical Content Knowledge: Sebuah Kerangka Pengetahuan Bagi Guru Indonesia di Era MEA*, in: *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Pendidikan*.
- Roy, dkk., 2017. *Modelling of Blood Flow in Stenosed Arteries*. *Procedia Comput. Sci.* 115, 821-830.
- Sahid, 2005. *Pengantar Komputasi Numerik dengan Matlab*. Yogyakarta: ANDI Yogyakarta.
- Sarwono, J., 2006. *Metode Penelitian. Kuantitatif Kualitatif*.
- Shi, dkk., 2017. *Suction force-suction distance relation during aspiration thrombectomy for ischemic stroke: a computational fluid dynamics study*. *Physics in Medicine* 3, 1-8.

- Shulman, L., 1987. *Knowledge and teaching: Foundations of the new reform*. Harvard educational review. 57, 1-23.
- Siang, Jong Jek, 2004. Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrograman menggunakan MATLAB. Andi Offset, Yogyakarta.
- Sims, N.R., Muyderman, H., 2010. *Mitochondria, oxidative metabolism and cell death in stroke*. Biochim. Biophys. Acta BBA-Mol. Basis Dis. 1802, 80-91.
- Sudjana, N., 1989. Penelitian dan Penilaian Pendidikan. Bandung. Sinar Baru.
- Syaefudin, U., Syamsuddin, A., 2005. Perencanaan Pendidikan Pendekatan Komprehensif. Bandung. PT Remaja Rosdakarya Tur Dat.
- Tuakia, F., 2008. Dasar-dasar CFD menggunakan FLUENT. Informatika. Bandung.
- Versteeg, H.K., Malalasekera, W., 1995. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics Longman Scientific & Technical*. Nova York.
- White, F.M., 2011. *FLUID MECHANICS, 7th ed*. McGraw Hill, Americas, New York.
- Widowati, dan Sutimin, 2007. Buku Ajar Pemodelan Matematika. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Yusuf, A.M., 2016. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif & Penelitian Gabungan. Prenada Media.

LAMPIRAN A. FORMAT *PROGRAMMING* MATLABA.1 Format *Programming* Simulasi Kecepatan Aliran Darah pada Arteri *Intracranial stenosis* Penyebab Stroke Iskemik yang Dipengaruhi Oleh Ketebalan Plak Menggunakan Metode Eksak

```

clear all;
clc;
disp('-----');
disp('          SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN DARAH          ');
disp(' Pada Arteri Intracranial stenosis Penyebab Stroke Iskemik ');
disp('          Dipengaruhi Oleh Ketebalan Plak          ');
disp('          Menggunakan Metode Eksak          ');
disp('          Oleh :          ');
disp('          ARIF SAPTA MANDALA          ');
disp('          NIM 140210101098          ');
disp('-----');

%Persamaan momentum
N=input('masukkan banyak diskritisasi = ');
disp('Pilihan kondisi:');
disp('a. Kondisi istirahat');
disp('b. Kondisi beraktivitas');
a=1.162;
b=2.22;
disp(' ');
w=input('Pilih opsi kondisi yang diinginkan = ');
disp('-----');
if w==a;
    w=a;
    t=60;
else w=b;
    t=70;
end
uv=0.378+0.0893*sin(2*pi*w)-0.10679*cos(2*pi*w)+...
    0.0418*sin(4*pi*w)-0.0223*cos(4*pi*w)+...
    0.0167*sin(6*pi*w)-0.0406*cos(6*pi*w)-...
    0.0086*sin(8*pi*w)-0.024*cos(8*pi*w)-...
    0.0118*sin(10*pi*w)-0.0167*cos(10*pi*w);
P=120;
l=(N-1)*0.1;
R=0.5;      %R adl jari-jari arteri
if uv<0

```

```

msgbox('uv tidak boleh kurang dari 0 ');
return;
end
r1=(50./100)*R;           %jari2 plak 50%
r2=(55./100)*R;           %jari2 plak 55%
r3=(60./100)*R;           %jari2 plak 60%
r1=(65./100)*R;           %jari2 plak 65%
r2=(70./100)*R;           %jari2 plak 70%
r3=(75./100)*R;           %jari2 plak 75%
r3=(80./100)*R;           %jari2 plak 80%
rho=1.060;                 %massa jenis darah
D=10;                       %debit aliran
eta=0.032;                 %kekentalan zat
miu=0.015;                 %koefisien gesek
l=(N-1)*0.1;              %panjang benda
D=12;
eta=1.725*10^-7;          %kekentalan zat
P1=8*D*eta*l/(pi*r1^4);   %tekanan
P2=8*D*eta*l/(pi*r2^4);   %tekanan
P3=8*D*eta*l/(pi*r3^4);   %tekanan
P4=8*D*eta*l/(pi*r4^4);   %tekanan
P5=8*D*eta*l/(pi*r5^4);   %tekanan
P6=8*D*eta*l/(pi*r6^4);   %tekanan
P7=8*D*eta*l/(pi*r7^4);   %tekanan
ng=2*N+1;
disp(['Banyaknya node global y:',num2str(ng)]);
t=input('masukkan waktu = ');
dt=1;

%Matriks
A1kcl=[(rho*k*uv/-2) (rho*k*uv*2/3) (rho*k*uv/-6)
        (rho*k*uv*2/-3) (rho*k*uv*0) (rho*k*uv*2/3)
        (rho*k*uv/6) (rho*k*uv*2/-3) (rho*k*uv/2)];
A1bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
for i=0:N-1;
    A1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=
        A1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+A1kcl;
end
B1kcl=[4*l*rho/30 2*l*rho/30 -1*l*rho/30
        (2*l*rho/30 16*l*rho/30 2*l*rho/30
        (-1*l*rho/30 2*l*rho/30 4*l*rho/30)];
B1bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
for i=0:N-1

```

```

B1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=
B1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+B1kcl;
end
r1_old=zeros(2*N+1,1); r1_old(1,1)=2*P1; r1_old(2*N+1,1)=-2*P1;
r1_all=r1_old; r2_old=zeros(2*N+1,1); r2_old(1,1)=2*P2;
r2_old(2*N+1,1)=-2*P2; r2_all=r2_old; r3_old=zeros(2*N+1,1);
r3_old(1,1)=2*P3; r3_old(2*N+1,1)=-2*P3; r3_all=r3_old;
r4_old=zeros(2*N+1,1); r4_old(1,1)=2*P4; r4_old(2*N+1,1)=-2*P4;
r4_all=r4_old; r5_old=zeros(2*N+1,1); r5_old(1,1)=2*P5;
r5_old(2*N+1,1)=-2*P5; r5_all=r5_old; r6_old=zeros(2*N+1,1);
r6_old(1,1)=2*P6; r6_old(2*N+1,1)=-2*P6; r6_all=r6_old;
r7_old=zeros(2*N+1,1); r7_old(1,1)=2*P7; r7_old(2*N+1,1)=-2*P7;
r7_all=r7_old;

%D adalah matriks di ruas kiri
D1=A1bsr+(2./dt)*B1bsr; D2=A1bsr+(2./dt)*B1bsr;
D3=A1bsr+(2./dt)*B1bsr; D4=A1bsr+(2./dt)*B1bsr;
D5=A1bsr+(2./dt)*B1bsr; D6=A1bsr+(2./dt)*B1bsr;
D7=A1bsr+(2./dt)*B1bsr;
%E adalah matriks di ruas kanan
E1=A1bsr-(2./dt)*B1bsr; E2=A1bsr-(2./dt)*B1bsr;
E3=A1bsr-(2./dt)*B1bsr; E4=A1bsr-(2./dt)*B1bsr;
E5=A1bsr-(2./dt)*B1bsr; E6=A1bsr-(2./dt)*B1bsr;
E7=A1bsr-(2./dt)*B1bsr; r1_new=D1\r1_old; r1_all=[r1_all r1_new];
r1_old=r1_new; r2_new=D2\r2_old; r2_all=[r2_all r2_new];
r2_old=r2_new; r3_new=D3\r3_old; r3_all=[r3_all r3_new];
r3_old=r3_new; r4_new=D4\r4_old; r4_all=[r4_all r4_new];
r4_old=r4_new; r5_new=D5\r5_old; r5_all=[r5_all r5_new];
r5_old=r5_new; r6_new=D6\r6_old; r6_all=[r6_all r6_new];
r6_old=r6_new; r7_new=D7\r7_old; r7_all=[r7_all r7_new];
r7_old=r7_new;
for i=1:t
    r1_new=D1\(-1*E1*r1_old);
    r1_all=[r1_all r1_new];
    r1_old=r1_new;
    r2_new=D2\(-1*E2*r2_old);
    r2_all=[r2_all r2_new];
    r2_old=r2_new;
    r3_new=D3\(-1*E3*r3_old);
    r3_all=[r3_all r3_new];
    r3_old=r3_new;
    r4_new=D4\(-1*E4*r4_old);
    r4_all=[r4_all r4_new];

```

```
r4_old=r4_new;
r5_new=D5\(-1*E5*r5_old);
r5_all=[r5_all r5_new];
r5_old=r5_new;
r6_new=D6\(-1*E6*r6_old);
r6_all=[r6_all r6_new];
r6_old=r6_new;
r7_new=D7\(-1*E7*r7_old);
r7_all=[r7_all r7_new];
r7_old=r7_new;
end
jar1=mean(r1_all); jar2=mean(r2_all); jar3=mean(r3_all);
jar4=mean(r4_all); jar5=mean(r5_all); jar6=mean(r6_all);
jar7=mean(r7_all);
figure;
plot(jar1,'-ob'); hold on;
plot(jar2,'-om'); hold on; plot(jar3,'-oc'); hold on;
plot(jar4,'-or'); hold on; plot(jar5,'-oy'); hold on;
plot(jar6,'-og'); hold on; plot(jar7,'-ok'); hold on;
title('Program Simulasi Aliran Darah pada Arteri Intracranial
stenosis Dipengaruhi oleh Plak',...
'color',[0 0 1],'fontweight','bold','fontsize',14);
xlabel('Iterasi Ke- ', 'color',[0 0 1],...
'fontweight','bold','fontsize',12);
ylabel('Kecepatan Aliran Darah ', 'color',[0 0 1],...
'fontweight','bold','fontsize',12);
legend('ketebalan plak 80%', 'ketebalan plak 75%',
'ketebalan plak 70%', 'ketebalan plak 65%', 'ketebalan plak 60%',
'ketebalan plak 55%', 'ketebalan plak 50%');
```


A.2 Format *Programming* Simulasi Kecepatan Aliran Darah pada Arteri *Intracranial stenosis* Penyebab Stroke Iskemik yang Dipengaruhi Oleh Kecepatan Awal Menggunakan Metode Eksak

```

clear all;
clc;
disp('-----');
disp('          SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN DARAH          ');
disp(' Pada Arteri Intracranial stenosis Penyebab Stroke Iskemik ');
disp('          Dipengaruhi Oleh Kecepatan Awal          ');
disp('          Menggunakan Metode Eksak          ');
disp('          Oleh :          ');
disp('          ARIF SAPTA MANDALA          ');
disp('          NIM 140210101098          ');
disp('-----');
%Persamaan momentum
N=input('masukkan banyak diskritisasi = ');
R=input('jari-jari arteri = ');
r=(50./100)*R; %r adl jari-jari plak (50%)
disp('Pilihan kondisi:');
disp('a. Kondisi istirahat');
disp('b. Kondisi beraktivitas');
a=1.162; b=2.22;
w=input('Pilih opsi kondisi yang diinginkan = ');
disp('-----');
if w==a;
    w=a;
    t=60;
else w=b;
    t=70;
end if r<0
    msgbox('r tidak boleh kurang dari 0 ');
    return;
end
vr1=0.6; %kecepatan awal
vr2=0.4; %kecepatan awal
vr3=0.2; %kecepatan awal
u1=2*vr1*(1-(r.^2./R.^2)); %pers kecepatan sesuai jurnal
u2=2*vr2*(1-(r.^2./R.^2));
u3=2*vr3*(1-(r.^2./R.^2));
rho=1060; %massa jenis darah
l=(N-1)*0.1; %panjang benda
P=117.98+17.11*sin(2*pi*w)+9.22*cos(2*pi*w)+...

```

```

12.7*sin(4*pi*w)+3.1*cos(4*pi*w)+...
9.78*sin(6*pi*w)+7.31*cos(6*pi*w)+...
1.45*sin(8*pi*w)-3.01*cos(8*pi*w)+...
3.82*sin(10*pi*w)-2.35*cos(12*w);
k=6;
ng=2*N+1;
disp(['Banyaknya node global y:',num2str(ng)]);
dt=1;
%Matriks
A1kcl=[(rho*k*u1/-2) (rho*k*u1*2/3) (rho*k*u1/-6)
        (rho*k*u1*2/-3) (rho*k*u1*0) (rho*k*u1*2/3)
        (rho*k*u1/6) (rho*k*u1*2/-3) (rho*k*u1/2)];
A2kcl=[(rho*k*u2/-2) (rho*k*u2*2/3) (rho*k*u2/-6)
        (rho*k*u2*2/-3) (rho*k*u2*0) (rho*k*u2*2/3)
        (rho*k*u2/6) (rho*k*u2*2/-3) (rho*k*u2/2)];
A3kcl=[(rho*k*u3/-2) (rho*k*u3*2/3) (rho*k*u3/-6)
        (rho*k*u3*2/-3) (rho*k*u3*0) (rho*k*u3*2/3)
        (rho*k*u3/6) (rho*k*u3*2/-3) (rho*k*u3/2)];
A1bsr=zeros(2*N+1,2*N+1); A2bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
A3bsr=zeros(2*N+1,2*N+1); for i=0:N-1
    A1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=A1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+A1kcl;
    A2bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=A2bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+A2kcl;
    A3bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=A3bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+A3kcl;
end
B1kcl=[4*1*rho/30 2*1*rho/30 -1*1*rho/30
        2*1*rho/30 16*1*rho/30 2*1*rho/30
        -1*1*rho/30 2*1*rho/30 4*1*rho/30];
B1bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
for i=0:N-1;
    B1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=B1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+B1kcl;
end
r1_old=zeros(2*N+1,1);
r1_old(1,1)=2*P;
r1_old(2*N+1,1)=-2*P;
r1_all=r1_old;
r2_old=zeros(2*N+1,1);
r2_old(1,1)=2*P;
r2_old(2*N+1,1)=-2*P;
r2_all=r2_old;
r3_old=zeros(2*N+1,1);
r3_old(1,1)=2*P;
r3_old(2*N+1,1)=-2*P;
r3_all=r3_old;

```

```

%D adalah matriks di ruas kiri
D1=A1bsr+(2./dt)*B1bsr; D2=A2bsr+(2./dt)*B1bsr;
D3=A3bsr+(2./dt)*B1bsr;
%E adalah matriks di ruas kanan
E1=A1bsr-(2./dt)*B1bsr;
E2=A2bsr-(2./dt)*B1bsr;
E3=A3bsr-(2./dt)*B1bsr;
r1_new=D1\r1_old;
r1_all=[r1_all r1_new];
r1_old=r1_new;
r2_new=D2\r2_old;
r2_all=[r2_all r2_new];
r2_old=r2_new;
r3_new=D3\r3_old;
r3_all=[r3_all r3_new];
r3_old=r3_new;
for i=1:t
    r1_new=D1\(-1*E1*r1_old);
    r1_all=[r1_all r1_new];
    r1_old=r1_new;
    r2_new=D2\(-1*E2*r2_old);
    r2_all=[r2_all r2_new];
    r2_old=r2_new;
    r3_new=D3\(-1*E3*r3_old);
    r3_all=[r3_all r3_new];
    r3_old=r3_new;
end
figure;
plot(mean(r1_all),'-ob');
hold on;
plot(mean(r2_all),'-or');
hold on;
plot(mean(r3_all),'-og');
hold on;
title('Program Simulasi Aliran Darah Dipengaruhi oleh Kecepatan
Awal',...
    'color',[0 0 1],'fontweight','bold','fontsize',14);
xlabel('Iterasi Ke- ','color',[0 0 1],...
    'fontweight','bold','fontsize',12);
ylabel('Kecepatan Aliran Darah ','color',[0 0 1],...
    'fontweight','bold','fontsize',12);
legend('kecepatan awal 0.6 m/s','kecepatan awal 0.4 m/s','kecepatan
awal 0.2 m/s');

```

A.3 Format *Programming* Simulasi Kecepatan Aliran Darah pada Arteri *Intracranial stenosis* Penyebab Stroke Iskemik yang Dipengaruhi Oleh Ketebalan Plak Menggunakan Metode Gauss-Seidel

```

clear all;
clc;
disp('-----');
disp('          SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN DARAH          ');
disp(' Pada Arteri Intracranial stenosis Penyebab Stroke Iskemik ');
disp('          Dipengaruhi Oleh Ketebalan Plak          ');
disp('          Menggunakan Metode Gauss-Seidel          ');
disp('          Oleh :          ');
disp('          ARIF SAPTA MANDALA          ');
disp('          NIM 140210101098          ');
disp('-----');
%Persamaan momentum
N=input('masukkan banyak diskritisasi = ');
disp('Pilihan kondisi:');
disp('a. Kondisi istirahat');
disp('b. Kondisi beraktivitas');
a=1.162;
b=2.22;
w=input('Pilih opsi kondisi yang diinginkan = ');
disp('-----');
if w==a;
    w=a; t=60;
else w=b;
    t=70;
end
uv=0.378+0.0893*sin(2*pi*w)-0.10679*cos(2*pi*w)+...
    0.0418*sin(4*pi*w)-0.0223*cos(4*pi*w)+...
    0.0167*sin(6*pi*w)-0.0406*cos(6*pi*w)-...
    0.0086*sin(8*pi*w)-0.024*cos(8*pi*w)-...
    0.0118*sin(10*pi*w)-0.0167*cos(10*pi*w);
P=120;
l=(N-1)*0.1;
R=0.5; %R adl jari-jari arteri
if uv<0
msgbox('uv tidak boleh kurang dari 0 ');
return;
end

```

```

r1=(50./100)*R;           %jari2 plak 50%
r2=(55./100)*R;           %jari2 plak 55%
r3=(60./100)*R;           %jari2 plak 60%
r1=(65./100)*R;           %jari2 plak 65%
r2=(70./100)*R;           %jari2 plak 70%
r3=(75./100)*R;           %jari2 plak 75%
r3=(80./100)*R;           %jari2 plak 80%
rho=1.060;                 %massa jenis darah
D=10;                      %debit aliran
eta=0.032;                 %kekentalan zat
miu=0.015;                %koefisien gesek
l=(N-1)*0.1;              %panjang benda
D=12;
eta=1.725*10^-7;          %kekentalan zat
P1=8*D*eta*l/(pi*r1^4);   %tekanan
P2=8*D*eta*l/(pi*r2^4);   %tekanan
P3=8*D*eta*l/(pi*r3^4);   %tekanan
P4=8*D*eta*l/(pi*r4^4);   %tekanan
P5=8*D*eta*l/(pi*r5^4);   %tekanan
P6=8*D*eta*l/(pi*r6^4);   %tekanan
P7=8*D*eta*l/(pi*r7^4);   %tekanan
ng=2*N+1;
disp(['Banyaknya node global y:',num2str(ng)]);
t=input('masukkan waktu = ');
dt=1;
%Matriks
A1kcl=[(rho*k*uv/-2) (rho*k*uv*2/3) (rho*k*uv/-6)
        (rho*k*uv*2/-3) (rho*k*uv*0) (rho*k*uv*2/3)
        (rho*k*uv/6) (rho*k*uv*2/-3) (rho*k*uv/2)];
A1bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
for i=0:N-1;
    A1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=
    A1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+A1kcl;
end
B1kcl=[4*l*rho/30 2*l*rho/30 -1*l*rho/30
        (2*l*rho/30 16*l*rho/30 2*l*rho/30
        (-1*l*rho/30 2*l*rho/30 4*l*rho/30)];
B1bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
for i=0:N-1
    B1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=
    B1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+B1kcl;
end
r1_old=zeros(2*N+1,1); r1_old(1,1)=2*P1; r1_old(2*N+1,1)=-2*P1;

```

```

r1_all=r1_old; r2_old=zeros(2*N+1,1); r2_old(1,1)=2*P2;
r2_old(2*N+1,1)=-2*P2; r2_all=r2_old; r3_old=zeros(2*N+1,1);
r3_old(1,1)=2*P3; r3_old(2*N+1,1)=-2*P3; r3_all=r3_old;
r4_old=zeros(2*N+1,1); r4_old(1,1)=2*P4; r4_old(2*N+1,1)=-2*P4;
r4_all=r4_old; r5_old=zeros(2*N+1,1); r5_old(1,1)=2*P5;
r5_old(2*N+1,1)=-2*P5; r5_all=r5_old; r6_old=zeros(2*N+1,1);
r6_old(1,1)=2*P6; r6_old(2*N+1,1)=-2*P6; r6_all=r6_old;
r7_old=zeros(2*N+1,1); r7_old(1,1)=2*P7; r7_old(2*N+1,1)=-2*P7;
r7_all=r7_old;

```

%D adalah matriks di ruas kiri

```

D1=A1bsr+(2./dt)*B1bsr; D2=A1bsr+(2./dt)*B1bsr;
D3=A1bsr+(2./dt)*B1bsr; D4=A1bsr+(2./dt)*B1bsr;
D5=A1bsr+(2./dt)*B1bsr; D6=A1bsr+(2./dt)*B1bsr;
D7=A1bsr+(2./dt)*B1bsr;

```

%E adalah matriks di ruas kanan

```

E1=A1bsr-(2./dt)*B1bsr; E2=A1bsr-(2./dt)*B1bsr;
E3=A1bsr-(2./dt)*B1bsr; E4=A1bsr-(2./dt)*B1bsr;
E5=A1bsr-(2./dt)*B1bsr; E6=A1bsr-(2./dt)*B1bsr;
E7=A1bsr-(2./dt)*B1bsr; r1_new=D1\r1_old; r1_all=[r1_all r1_new];
r1_old=r1_new; r2_new=D2\r2_old; r2_all=[r2_all r2_new];
r2_old=r2_new; r3_new=D3\r3_old; r3_all=[r3_all r3_new];
r3_old=r3_new; r4_new=D4\r4_old; r4_all=[r4_all r4_new];
r4_old=r4_new; r5_new=D5\r5_old; r5_all=[r5_all r5_new];
r5_old=r5_new; r6_new=D6\r6_old; r6_all=[r6_all r6_new];
r6_old=r6_new; r7_new=D7\r7_old; r7_all=[r7_all r7_new];
r7_old=r7_new;

```

for i=1:t

```

    r1_new=D1\(-1*E1*r1_old);
    r1_all=[r1_all r1_new];
    r1_old=r1_new;
    r2_new=D2\(-1*E2*r2_old);
    r2_all=[r2_all r2_new];
    r2_old=r2_new;
    r3_new=D3\(-1*E3*r3_old);
    r3_all=[r3_all r3_new];
    r3_old=r3_new;
    r4_new=D4\(-1*E4*r4_old);
    r4_all=[r4_all r4_new];
    r4_old=r4_new;
    r5_new=D5\(-1*E5*r5_old);
    r5_all=[r5_all r5_new];
    r5_old=r5_new;

```

```

r6_new=D6\(-1*E6*r6_old);
r6_all=[r6_all r6_new];
r6_old=r6_new;
r7_new=D7\(-1*E7*r7_old);
r7_all=[r7_all r7_new];
r7_old=r7_new;
end
%Gauss-Seidel
T=0.01;          %Toleransi
X0=zeros(2*N+1,1);
X0(1:2*N+1)=1.001;
H=X0';
eps=0.0632;
w=length(1);
X1=X0; X2=X0; X3=X0; X4=X0; X5=X0; X6=X0; X7=X0;
for k=1:N
    for i=1:w
        S1=r1_old(i)-r1_new(i,1:i-1)*X1(1:i-1)-r1_new(i,i+1:w)*X0(i+1:w);
        X1(i)=S1/r1_new(i,i);
        S2=r2_old(i)-r2_new(i,1:i-1)*X2(1:i-1)-r1_new(i,i+1:w)*X0(i+1:w);
        X2(i)=S2/r2_new(i,i);
        S3=r3_old(i)-r3_new(i,1:i-1)*X3(1:i-1)-r3_new(i,i+1:w)*X0(i+1:w);
        X3(i)=S3/r3_new(i,i);
        S4=r4_old(i)-r4_new(i,1:i-1)*X4(1:i-1)-r4_new(i,i+1:w)*X0(i+1:w);
        X4(i)=S4/r4_new(i,i);
        S5=r5_old(i)-r5_new(i,1:i-1)*X5(1:i-1)-r5_new(i,i+1:w)*X0(i+1:w);
        X5(i)=S5/r5_new(i,i);
        S6=r6_old(i)-r6_new(i,1:i-1)*X6(1:i-1)-r6_new(i,i+1:w)*X0(i+1:w);
        X6(i)=S6/r6_new(i,i);
        S7=r7_old(i)-r7_new(i,1:i-1)*X7(1:i-1)-r7_new(i,i+1:w)*X0(i+1:w);
        X7(i)=S7/r7_new(i,i);
    end
    e=abs(X1-X0);
    error=norm(e);
    reller=error/(norm(X1)*eps);
    X0=X1;
    H=[H,X0'];
    if(error<T)|(reller<T)
        break
    end
end
disp(['besarnya error= ',num2str(error)]);
disp(['besarnya relatif error= ',num2str(reller)]);

```

```
H; X1;
r1_all=[r1_all]; rall1_plot=[rall1_plot];
r2_all=[r2_all]; rall2_plot=[rall2_plot];
r3_all=[r3_all]; rall3_plot=[rall3_plot];
r4_all=[r4_all]; rall4_plot=[rall4_plot];
r5_all=[r5_all]; rall5_plot=[rall5_plot];
r6_all=[r6_all]; rall6_plot=[rall6_plot];
r7_all=[r7_all]; rall7_plot=[rall7_plot];
jar1=mean(r1_all); jar2=mean(r2_all); jar3=mean(r3_all);
jar4=mean(r4_all); jar5=mean(r5_all); jar6=mean(r6_all);
jar7=mean(r7_all);
figure;
plot(jar1,'-ob'); hold on;
plot(jar2,'-om'); hold on; plot(jar3,'-oc'); hold on;
plot(jar4,'-or'); hold on; plot(jar5,'-oy'); hold on;
plot(jar6,'-og'); hold on; plot(jar7,'-ok'); hold on;
title('Program Simulasi Aliran Darah pada Arteri Intracranial
stenosis Dipengaruhi oleh Plak',...
'color',[0 0 1],'fontweight','bold','fontsize',14);
xlabel('Iterasi Ke- ','color',[0 0 1],...
'fontweight','bold','fontsize',12);
ylabel('Kecepatan Aliran Darah ','color',[0 0 1],...
'fontweight','bold','fontsize',12);
legend('ketebalan plak 80%','ketebalan plak 75%',
'ketebalan plak 70%','ketebalan plak 65%','ketebalan plak 60%',
'ketebalan plak 55%','ketebalan plak 50%');
disp('Gauss-Seidel method converged');
```


A.4 Format *Programming* Simulasi Kecepatan Aliran Darah pada Arteri *Intracranial stenosis* Penyebab Stroke Iskemik yang Dipengaruhi Oleh Kecepatan Awal Menggunakan Metode Gauss-Seidel

```

clear all;
clc;
disp('-----');
disp('          SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN DARAH          ');
disp(' Pada Arteri Intracranial stenosis Penyebab Stroke Iskemik ');
disp('          Dipengaruhi Oleh Kecepatan Awal          ');
disp('          Menggunakan Metode Gauss-Seidel          ');
disp('          Oleh :          ');
disp('          ARIF SAPTA MANDALA          ');
disp('          NIM 140210101098          ');
disp('-----');
%Persamaan momentum
N=input('masukkan banyak diskritisasi = ');
R=input('jari-jari arteri = ');
r=(50./100)*R; %r adl jari-jari plak (50%)
disp('Pilihan kondisi:');
disp('a. Kondisi istirahat');
disp('b. Kondisi beraktivitas');
a=1.162; b=2.22;
w=input('Pilih opsi kondisi yang diinginkan = ');
disp('-----');
if w==a;
    w=a; t=60;
else w=b;
    t=70;
end if r<0
    msgbox('r tidak boleh kurang dari 0 ');
    return;
end
vr1=0.6; %kecepatan awal
vr2=0.4; %kecepatan awal
vr3=0.2; %kecepatan awal
u1=2*vr1*(1-(r.^2./R.^2)); %pers kecepatan sesuai jurnal
u2=2*vr2*(1-(r.^2./R.^2));
u3=2*vr3*(1-(r.^2./R.^2));
rho=1060; %massa jenis darah
l=(N-1)*0.1; %panjang benda
P=117.98+17.11*sin(2*pi*w)+9.22*cos(2*pi*w)+...
    12.7*sin(4*pi*w)+3.1*cos(4*pi*w)+...

```

```

9.78*sin(6*pi*w)+7.31*cos(6*pi*w)+...
1.45*sin(8*pi*w)-3.01*cos(8*pi*w)+...
3.82*sin(10*pi*w)-2.35*cos(12*w);
k=6;
ng=2*N+1;
disp(['Banyaknya node global y:',num2str(ng)]);
dt=1;
%Matriks
A1kcl=[(rho*k*u1/-2) (rho*k*u1*2/3) (rho*k*u1/-6)
        (rho*k*u1*2/-3) (rho*k*u1*0) (rho*k*u1*2/3)
        (rho*k*u1/6) (rho*k*u1*2/-3) (rho*k*u1/2)];
A2kcl=[(rho*k*u2/-2) (rho*k*u2*2/3) (rho*k*u2/-6)
        (rho*k*u2*2/-3) (rho*k*u2*0) (rho*k*u2*2/3)
        (rho*k*u2/6) (rho*k*u2*2/-3) (rho*k*u2/2)];
A3kcl=[(rho*k*u3/-2) (rho*k*u3*2/3) (rho*k*u3/-6)
        (rho*k*u3*2/-3) (rho*k*u3*0) (rho*k*u3*2/3)
        (rho*k*u3/6) (rho*k*u3*2/-3) (rho*k*u3/2)];
A1bsr=zeros(2*N+1,2*N+1); A2bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
A3bsr=zeros(2*N+1,2*N+1); for i=0:N-1
    A1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=A1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+A1kcl;
    A2bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=A2bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+A2kcl;
    A3bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=A3bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+A3kcl;
end
B1kcl=[4*1*rho/30 2*1*rho/30 -1*1*rho/30
        2*1*rho/30 16*1*rho/30 2*1*rho/30
        -1*1*rho/30 2*1*rho/30 4*1*rho/30];
B1bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
for i=0:N-1;
    B1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=B1bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+B1kcl;
end
r1_old=zeros(2*N+1,1);
r1_old(1,1)=2*P;
r1_old(2*N+1,1)=-2*P;
r1_all=r1_old;
r2_old=zeros(2*N+1,1);
r2_old(1,1)=2*P;
r2_old(2*N+1,1)=-2*P;
r2_all=r2_old;
r3_old=zeros(2*N+1,1);
r3_old(1,1)=2*P;
r3_old(2*N+1,1)=-2*P;
r3_all=r3_old;
%D adalah matriks di ruas kiri

```

```

D1=A1bsr+(2./dt)*B1bsr; D2=A2bsr+(2./dt)*B1bsr;
D3=A3bsr+(2./dt)*B1bsr;
%E adalah matriks di ruas kanan
E1=A1bsr-(2./dt)*B1bsr;
E2=A2bsr-(2./dt)*B1bsr;
E3=A3bsr-(2./dt)*B1bsr;
r1_new=D1\r1_old;
r1_all=[r1_all r1_new];
r1_old=r1_new;
r2_new=D2\r2_old;
r2_all=[r2_all r2_new];
r2_old=r2_new;
r3_new=D3\r3_old;
r3_all=[r3_all r3_new];
r3_old=r3_new;
%Penyelesaian dalam waktu
for i=1:t
    r1_new=D1\(-E1*r1_old);
    r1_all=[r1_all r1_new];
    r1_old=r1_new;
    rall1_plot=[];
    r2_new=D2\(-E2*r2_old);
    r2_all=[r2_all r2_new];
    r2_old=r2_new;
    rall2_plot=[];
    r3_new=D3\(-E3*r3_old);
    r3_all=[r3_all r3_new];
    r3_old=r3_new;
    rall3_plot=[];
end
%Gauss-Seidel
T=0.01;          %Toleransi
X0=zeros(2*N+1,1);
X0(1:2*N+1)=1.001;
H=X0';
eps=0.063;
w=length(1);
X1=X0;
X2=X0;
X3=X0;
for k=1:N
    for i=1:w
        S1=r1_old(i)-r1_new(i,1:i-1)*X1(1:i-1)-r1_new(i,i+1:w)*X0(i+1:w);

```

```

X1(i)=S1/r1_new(i,i);
S2=r2_old(i)-r2_new(i,1:i-1)*X2(1:i-1)-r1_new(i,i+1:w)*X0(i+1:w);
X2(i)=S2/r2_new(i,i);
S3=r3_old(i)-r3_new(i,1:i-1)*X3(1:i-1)-r3_new(i,i+1:w)*X0(i+1:w);
X3(i)=S3/r3_new(i,i);
end
e=abs(X1-X0);
error=norm(e);
reller=error/(norm(X1)*eps);
X0=X1;
H=[H,X0'];
if(error<T)|(reller<T)
    break
end
end
disp(['besarnya error= ',num2str(error)]);
disp(['besarnya relatif error= ',num2str(reller)]);
H; X1;
r1_all=[r1_all];
rall1_plot=[rall1_plot];
r2_all=[r2_all];
rall2_plot=[rall2_plot];
r3_all=[r3_all];
rall3_plot=[rall3_plot];
figure;
plot(mean(r1_all),'-ob');
hold on;
plot(mean(r2_all),'-or');
hold on;
plot(mean(r3_all),'-og');
hold on;
title('Program Simulasi Aliran Darah pada Arteri Intracranial
stenosis Dipengaruhi oleh Plak',...
    'color',[0 0 1],'fontweight','bold','fontsize',14);
xlabel('Iterasi Ke- ','color',[0 0 1],...
    'fontweight','bold','fontsize',12);
ylabel('Kecepatan Aliran Darah ','color',[0 0 1],...
    'fontweight','bold','fontsize',12);
legend('ketebalan plak 80%','ketebalan plak 65%',
    'ketebalan plak 50%');
disp('Gauss-Seidel method converged');

```

LAMPIRAN B. HASIL SIMULASI MATLAB DENGAN METODE BIASA

B.1 Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Darah pada Arteri *Intracranial stenosis* Penyebab Stroke Iskemik yang Dipengaruhi Oleh Ketebalan Plak 50% - 80% saat Kondisi Istirahat

Iterasi ke-	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %	75 %	80 %
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0.0002	0.0002	0.0003	0.0004	0.0006	0.0008	0.0012
3	0.0008	0.0011	0.0014	0.0019	0.0026	0.0037	0.0055
4	0.0021	0.0027	0.0035	0.0047	0.0065	0.0093	0.0136
5	0.0039	0.0050	0.0066	0.0089	0.0123	0.0174	0.0254
6	0.0063	0.0081	0.0107	0.0144	0.0198	0.0281	0.0411
7	0.0092	0.0120	0.0158	0.0212	0.0292	0.0414	0.0606
8	0.0128	0.0166	0.0218	0.0294	0.0405	0.0573	0.0839
9	0.0169	0.0219	0.0289	0.0388	0.0535	0.0758	0.1109
10	0.0216	0.0280	0.0369	0.0496	0.0683	0.0967	0.1416
11	0.0268	0.0347	0.0457	0.0615	0.0847	0.1199	0.1755
12	0.0324	0.0419	0.0552	0.0743	0.1023	0.1449	0.2121
13	0.0382	0.0494	0.0651	0.0876	0.1207	0.1709	0.2502
14	0.0440	0.0570	0.0751	0.1010	0.1392	0.1971	0.2886
15	0.0498	0.0645	0.0850	0.1143	0.1574	0.2229	0.3264
16	0.0555	0.0718	0.0946	0.1273	0.1753	0.2483	0.3635
17	0.0611	0.0791	0.1043	0.1403	0.1932	0.2736	0.4006
18	0.0668	0.0865	0.1140	0.1534	0.2113	0.2992	0.4381
19	0.0726	0.0940	0.1239	0.1666	0.2295	0.3250	0.4758
20	0.0783	0.1014	0.1336	0.1797	0.2475	0.3506	0.5133
21	0.0840	0.1088	0.1433	0.1928	0.2655	0.3760	0.5505
22	0.0897	0.1161	0.1531	0.2059	0.2835	0.4016	0.5880
23	0.0955	0.1236	0.1628	0.2190	0.3017	0.4273	0.6255
24	0.1012	0.1310	0.1726	0.2321	0.3197	0.4528	0.6630
25	0.1069	0.1383	0.1823	0.2452	0.3377	0.4784	0.7004
26	0.1126	0.1457	0.1921	0.2583	0.3558	0.5039	0.7378
27	0.1183	0.1532	0.2018	0.2715	0.3739	0.5296	0.7753
28	0.1240	0.1605	0.2116	0.2846	0.3920	0.5551	0.8128
29	0.1297	0.1679	0.2213	0.2977	0.4100	0.5807	0.8502
30	0.1355	0.1753	0.2311	0.3108	0.4281	0.6063	0.8877

Iterasi ke-	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %	75 %	80 %
31	0.1412	0.1827	0.2408	0.3239	0.4461	0.6319	0.9251
32	0.1469	0.1901	0.2506	0.3370	0.4642	0.6574	0.9625
33	0.1526	0.1975	0.2603	0.3501	0.4822	0.6830	1.0000
34	0.1583	0.2049	0.2701	0.3633	0.5003	0.7086	1.0375
35	0.1640	0.2123	0.2798	0.3764	0.5184	0.7342	1.0749
36	0.1697	0.2197	0.2896	0.3895	0.5364	0.7597	1.1123
37	0.1755	0.2271	0.2993	0.4026	0.5545	0.7853	1.1498
38	0.1812	0.2345	0.3091	0.4157	0.5726	0.8109	1.1872
39	0.1869	0.2419	0.3188	0.4288	0.5906	0.8365	1.2247
40	0.1926	0.2493	0.3286	0.4419	0.6087	0.8621	1.2622
41	0.1983	0.2567	0.3383	0.4550	0.6267	0.8876	1.2996
42	0.2040	0.2641	0.3480	0.4681	0.6448	0.9132	1.3370
43	0.2097	0.2715	0.3578	0.4813	0.6629	0.9388	1.3745
44	0.2154	0.2789	0.3675	0.4944	0.6809	0.9644	1.4119
45	0.2212	0.2863	0.3773	0.5075	0.6989	0.9899	1.4493
46	0.2269	0.2937	0.3870	0.5206	0.7170	1.0155	1.4867
47	0.2326	0.3011	0.3967	0.5336	0.7350	1.0410	1.5241
48	0.2382	0.3084	0.4064	0.5466	0.7529	1.0663	1.5612
49	0.2439	0.3157	0.4160	0.5595	0.7707	1.0915	1.5981
50	0.2494	0.3229	0.4255	0.5723	0.7882	1.1163	1.6344
51	0.2548	0.3299	0.4347	0.5847	0.8053	1.1405	1.6699
52	0.2600	0.3366	0.4435	0.5966	0.8217	1.1638	1.7039
53	0.2649	0.3429	0.4519	0.6078	0.8371	1.1856	1.7358
54	0.2693	0.3486	0.4594	0.6179	0.8511	1.2054	1.7648
55	0.2732	0.3536	0.4660	0.6268	0.8633	1.2227	1.7902
56	0.2764	0.3578	0.4715	0.6342	0.8735	1.2371	1.8113
57	0.2789	0.3611	0.4758	0.6400	0.8815	1.2485	1.8279
58	0.2808	0.3635	0.4790	0.6443	0.8875	1.2569	1.8403
59	0.2822	0.3653	0.4814	0.6475	0.8918	1.2630	1.8492
60	0.2832	0.3666	0.4831	0.6498	0.8950	1.2675	1.8558
61	0.2840	0.3676	0.4845	0.6517	0.8976	1.2712	1.8612
62	0.2848	0.3687	0.4859	0.6535	0.9001	1.2748	1.8665

B.2 Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Darah pada Arteri *Intracranial stenosis* Penyebab Stroke Iskemik yang Dipengaruhi Oleh Ketebalan Plak 50% - 80% saat Kondisi Beraktivitas

Iterasi ke-	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %	75 %	80 %
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003	0.0005	0.0007	0.0010
3	0.0007	0.0009	0.0012	0.0015	0.0021	0.0030	0.0044
4	0.0017	0.0021	0.0028	0.0038	0.0052	0.0074	0.0109
5	0.0031	0.0040	0.0053	0.0071	0.0098	0.0139	0.0204
6	0.0050	0.0065	0.0086	0.0115	0.0159	0.0225	0.0329
7	0.0074	0.0096	0.0126	0.0169	0.0233	0.0331	0.0484
8	0.0102	0.0132	0.0174	0.0234	0.0323	0.0457	0.0670
9	0.0135	0.0175	0.0230	0.0310	0.0427	0.0605	0.0885
10	0.0173	0.0223	0.0294	0.0396	0.0545	0.0772	0.1131
11	0.0214	0.0278	0.0366	0.0492	0.0678	0.0960	0.1405
12	0.0260	0.0337	0.0444	0.0597	0.0823	0.1165	0.1706
13	0.0310	0.0401	0.0528	0.0710	0.0979	0.1386	0.2029
14	0.0361	0.0467	0.0616	0.0829	0.1141	0.1616	0.2366
15	0.0413	0.0535	0.0705	0.0948	0.1306	0.1850	0.2708
16	0.0465	0.0602	0.0793	0.1067	0.1469	0.2081	0.3047
17	0.0516	0.0668	0.0880	0.1183	0.1630	0.2308	0.3379
18	0.0566	0.0733	0.0966	0.1299	0.1789	0.2534	0.3710
19	0.0617	0.0798	0.1052	0.1415	0.1949	0.2761	0.4042
20	0.0668	0.0865	0.1140	0.1533	0.2111	0.2990	0.4378
21	0.0719	0.0931	0.1227	0.1650	0.2273	0.3219	0.4713
22	0.0770	0.0997	0.1314	0.1767	0.2433	0.3446	0.5046
23	0.0821	0.1062	0.1400	0.1883	0.2594	0.3674	0.5378
24	0.0872	0.1128	0.1487	0.2000	0.2755	0.3902	0.5713
25	0.0923	0.1195	0.1574	0.2117	0.2916	0.4131	0.6048
26	0.0974	0.1260	0.1661	0.2234	0.3077	0.4358	0.6381
27	0.1024	0.1326	0.1748	0.2351	0.3238	0.4586	0.6714
28	0.1075	0.1392	0.1835	0.2468	0.3399	0.4814	0.7048
29	0.1127	0.1458	0.1922	0.2585	0.3560	0.5042	0.7382
30	0.1177	0.1524	0.2008	0.2701	0.3721	0.5270	0.7716
31	0.1228	0.1590	0.2095	0.2818	0.3882	0.5498	0.8049
32	0.1279	0.1656	0.2182	0.2935	0.4043	0.5726	0.8383
33	0.1330	0.1722	0.2269	0.3052	0.4204	0.5954	0.8717
34	0.1381	0.1788	0.2356	0.3169	0.4365	0.6182	0.9050
35	0.1432	0.1854	0.2443	0.3286	0.4526	0.6410	0.9384

Iterasi ke-	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %	75 %	80 %
36	0.1483	0.1920	0.2530	0.3403	0.4687	0.6638	0.9719
37	0.1534	0.1986	0.2617	0.3519	0.4848	0.6866	1.0052
38	0.1585	0.2052	0.2704	0.3636	0.5009	0.7094	1.0386
39	0.1636	0.2118	0.2790	0.3753	0.5170	0.7322	1.0720
40	0.1687	0.2183	0.2877	0.3870	0.5331	0.7550	1.1053
41	0.1738	0.2249	0.2964	0.3987	0.5491	0.7777	1.1387
42	0.1789	0.2315	0.3051	0.4104	0.5653	0.8006	1.1721
43	0.1839	0.2381	0.3138	0.4221	0.5813	0.8234	1.2055
44	0.1890	0.2447	0.3225	0.4338	0.5974	0.8461	1.2388
45	0.1941	0.2513	0.3312	0.4454	0.6135	0.8690	1.2722
46	0.1992	0.2579	0.3399	0.4571	0.6296	0.8917	1.3056
47	0.2043	0.2645	0.3485	0.4688	0.6457	0.9145	1.3390
48	0.2094	0.2711	0.3572	0.4805	0.6618	0.9373	1.3723
49	0.2145	0.2777	0.3659	0.4922	0.6779	0.9601	1.4057
50	0.2196	0.2843	0.3746	0.5039	0.6940	0.9829	1.4391
51	0.2247	0.2909	0.3833	0.5155	0.7101	1.0057	1.4724
52	0.2298	0.2974	0.3920	0.5272	0.7262	1.0285	1.5058
53	0.2348	0.3040	0.4006	0.5389	0.7422	1.0512	1.5390
54	0.2399	0.3105	0.4092	0.5505	0.7582	1.0738	1.5721
55	0.2449	0.3170	0.4178	0.5620	0.7740	1.0962	1.6050
56	0.2499	0.3235	0.4262	0.5733	0.7897	1.1184	1.6374
57	0.2547	0.3297	0.4345	0.5844	0.8050	1.1401	1.6692
58	0.2594	0.3358	0.4425	0.5952	0.8197	1.1610	1.6998
59	0.2638	0.3415	0.4500	0.6053	0.8337	1.1808	1.7288
60	0.2679	0.3468	0.4570	0.6147	0.8466	1.1990	1.7555
61	0.2715	0.3515	0.4632	0.6230	0.8581	1.2154	1.7794
62	0.2746	0.3555	0.4685	0.6302	0.8680	1.2294	1.7999
63	0.2772	0.3589	0.4729	0.6361	0.8762	1.2409	1.8168
64	0.2793	0.3615	0.4764	0.6408	0.8826	1.2500	1.8301
65	0.2808	0.3635	0.4791	0.6443	0.8875	1.2570	1.8403
66	0.2820	0.3651	0.4811	0.6471	0.8912	1.2622	1.8480
67	0.2829	0.3662	0.4826	0.6492	0.8941	1.2663	1.8541
68	0.2837	0.3672	0.4839	0.6509	0.8965	1.2697	1.8590
69	0.2844	0.3681	0.4851	0.6525	0.8987	1.2729	1.8636
70	0.2851	0.3691	0.4864	0.6542	0.9011	1.2761	1.8684
71	0.2860	0.3702	0.4879	0.6563	0.9039	1.2802	1.8743
72	0.2873	0.3719	0.4900	0.6591	0.9078	1.2858	1.8825

B.3 Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Darah pada Arteri *Intracranial stenosis* Penyebab Stroke Iskemik dengan Kecepatan Awal 0.2 m/s, 0.4 m/s dan 0.6 m/s saat Kondisi Istirahat

Iterasi ke-	0.2 m/s (m/s)	0.4 m/s (m/s)	0.6 m/s (m/s)
1	0	0	0
2	0.00041615	0.00090565	0.0015122
3	0.0013016	0.003079	0.0055476
4	0.00234	0.0062051	0.012042
5	0.0036121	0.010573	0.021375
6	0.0051734	0.016205	0.033387
7	0.0070522	0.023027	0.048021
8	0.0092544	0.031003	0.065361
9	0.011772	0.040162	0.085415
10	0.014592	0.050533	0.10813
11	0.017703	0.062113	0.13352
12	0.021102	0.074878	0.16161
13	0.024789	0.088822	0.19239
14	0.028771	0.10396	0.22584
15	0.033054	0.1203	0.26197
16	0.037642	0.13784	0.3008
17	0.042534	0.15656	0.34231
18	0.047727	0.17647	0.38649
19	0.053218	0.19758	0.43337
20	0.059003	0.21989	0.48293
21	0.065083	0.24339	0.53518
22	0.071457	0.26807	0.5901
23	0.07813	0.29395	0.64771
24	0.085103	0.32102	0.70802
25	0.092378	0.3493	0.77099
26	0.099953	0.37876	0.83666
27	0.10783	0.40941	0.90501
28	0.116	0.44126	0.97605
29	0.12447	0.4743	1.0498
30	0.13323	0.50853	1.1262

Iterasi ke-	0.2 m/s (m/s)	0.4 m/s (m/s)	0.6 m/s (m/s)
31	0.14229	0.54396	1.2052
32	0.15165	0.58058	1.287
33	0.16131	0.61839	1.3714
34	0.17127	0.65739	1.4585
35	0.18153	0.69759	1.5482
36	0.19208	0.73898	1.6404
37	0.20294	0.78157	1.735
38	0.21409	0.82534	1.8318
39	0.22554	0.87031	1.9305
40	0.23728	0.91648	2.0308
41	0.24933	0.96383	2.1321
42	0.26167	1.0124	2.2338
43	0.27432	1.0621	2.3356
44	0.28726	1.1131	2.4369
45	0.3005	1.1652	2.5375
46	0.31404	1.2185	2.6376
47	0.32787	1.273	2.7374
48	0.34201	1.3287	2.8372
49	0.35644	1.3856	2.9374
50	0.37117	1.4437	3.0379
51	0.38619	1.5029	3.1387
52	0.40152	1.5633	3.2395
53	0.41715	1.6249	3.34
54	0.43307	1.6875	3.4403
55	0.4493	1.7513	3.5404
56	0.46581	1.816	3.6406
57	0.48263	1.8815	3.7411
58	0.49975	1.9479	3.8417
59	0.51716	2.0149	3.9423
60	0.53488	2.0823	4.0427
61	0.55289	2.15	4.1429
62	0.5712	2.2178	4.2432

B.4 Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Darah pada Arteri *Intracranial stenosis* Penyebab Stroke Iskemik dengan Kecepatan Awal 0.2 m/s, 0.4 m/s dan 0.6 m/s saat Kondisi Beraktivitas

Iterasi ke-	0.2 m/s (m/s)	0.4 m/s (m/s)	0.6 m/s (m/s)
1	0	0	0
2	0.00037829	0.00082326	0.0013746
3	0.0011832	0.0027989	0.0050429
4	0.0021271	0.0056406	0.010947
5	0.0032835	0.009611	0.01943
6	0.0047028	0.014731	0.030349
7	0.0064106	0.020932	0.043652
8	0.0084125	0.028183	0.059415
9	0.010701	0.036508	0.077644
10	0.013264	0.045936	0.098294
11	0.016093	0.056463	0.12137
12	0.019182	0.068066	0.14691
13	0.022534	0.080742	0.17489
14	0.026154	0.094501	0.20529
15	0.030047	0.10935	0.23814
16	0.034217	0.1253	0.27343
17	0.038664	0.14232	0.31117
18	0.043385	0.16042	0.35133
19	0.048377	0.1796	0.39394
20	0.053636	0.19988	0.439
21	0.059162	0.22124	0.48649
22	0.064957	0.24369	0.53642
23	0.071022	0.26721	0.58879
24	0.077361	0.29182	0.6436
25	0.083974	0.31752	0.70085
26	0.09086	0.3443	0.76054
27	0.098018	0.37217	0.82268
28	0.10545	0.40111	0.88725
29	0.11314	0.43115	0.95426
30	0.12111	0.46227	1.0237
31	0.12935	0.49447	1.0956
32	0.13785	0.52776	1.1699
33	0.14663	0.56213	1.2467
34	0.15569	0.59759	1.3258
35	0.16501	0.63413	1.4073

Iterasi ke-	0.2 m/s (m/s)	0.4 m/s (m/s)	0.6 m/s (m/s)
36	0.17461	0.67175	1.4911
37	0.18448	0.71046	1.5771
38	0.19461	0.75026	1.6651
39	0.20502	0.79114	1.7549
40	0.2157	0.8331	1.846
41	0.22665	0.87615	1.9381
42	0.23787	0.92028	2.0306
43	0.24936	0.9655	2.1231
44	0.26113	1.0118	2.2152
45	0.27316	1.0592	2.3067
46	0.28547	1.1077	2.3977
47	0.29804	1.1572	2.4884
48	0.31089	1.2078	2.5791
49	0.32401	1.2596	2.6701
50	0.3374	1.3123	2.7615
51	0.35106	1.3662	2.8532
52	0.365	1.4211	2.9448
53	0.3792	1.4771	3.0362
54	0.39368	1.534	3.1273
55	0.40842	1.5919	3.2183
56	0.42344	1.6507	3.3094
57	0.43872	1.7104	3.4007
58	0.45428	1.7707	3.4922
59	0.47011	1.8316	3.5837
60	0.48622	1.8929	3.6749
61	0.50259	1.9544	3.766
62	0.51923	2.016	3.8572
63	0.53615	2.0776	3.9484
64	0.55333	2.1389	4.0399
65	0.57079	2.1999	4.1313
66	0.58852	2.2607	4.2225
67	0.60652	2.3213	4.3137
68	0.62479	2.3818	4.4049
69	0.64333	2.4423	4.4962
70	0.66214	2.503	4.5876
71	0.68123	2.5638	4.6789
72	0.70058	2.6248	4.7701

LAMPIRAN C. HASIL SIMULASI MATLAB DENGAN METODE GAUSS-SEIDEL

C.1 Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Darah pada Arteri *Intracranial stenosis* Penyebab Stroke Iskemik yang Dipengaruhi Oleh Ketebalan Plak 50% - 80% saat Kondisi Istirahat

Iterasi ke-	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %	75 %	80 %
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0.0002	0.0002	0.0003	0.0004	0.0006	0.0008	0.0012
3	0.0008	0.0011	0.0014	0.0019	0.0026	0.0037	0.0055
4	0.0021	0.0027	0.0035	0.0047	0.0065	0.0093	0.0136
5	0.0039	0.0050	0.0066	0.0089	0.0123	0.0174	0.0254
6	0.0063	0.0081	0.0107	0.0144	0.0198	0.0281	0.0411
7	0.0092	0.0120	0.0158	0.0212	0.0292	0.0414	0.0606
8	0.0128	0.0166	0.0218	0.0294	0.0405	0.0573	0.0839
9	0.0169	0.0219	0.0289	0.0388	0.0535	0.0758	0.1109
10	0.0216	0.0280	0.0369	0.0496	0.0683	0.0967	0.1416
11	0.0268	0.0347	0.0457	0.0615	0.0847	0.1199	0.1755
12	0.0324	0.0419	0.0552	0.0743	0.1023	0.1449	0.2121
13	0.0382	0.0494	0.0651	0.0876	0.1207	0.1709	0.2502
14	0.0440	0.0570	0.0751	0.1010	0.1392	0.1971	0.2886
15	0.0498	0.0645	0.0850	0.1143	0.1574	0.2229	0.3264
16	0.0555	0.0718	0.0946	0.1273	0.1753	0.2483	0.3635
17	0.0611	0.0791	0.1043	0.1403	0.1932	0.2736	0.4006
18	0.0668	0.0865	0.1140	0.1534	0.2113	0.2992	0.4381
19	0.0726	0.0940	0.1239	0.1666	0.2295	0.3250	0.4758
20	0.0783	0.1014	0.1336	0.1797	0.2475	0.3506	0.5133
21	0.0840	0.1088	0.1433	0.1928	0.2655	0.3760	0.5505
22	0.0897	0.1161	0.1531	0.2059	0.2835	0.4016	0.5880
23	0.0955	0.1236	0.1628	0.2190	0.3017	0.4273	0.6255
24	0.1012	0.1310	0.1726	0.2321	0.3197	0.4528	0.6630
25	0.1069	0.1383	0.1823	0.2452	0.3377	0.4784	0.7004
26	0.1126	0.1457	0.1921	0.2583	0.3558	0.5039	0.7378
27	0.1183	0.1532	0.2018	0.2715	0.3739	0.5296	0.7753
28	0.1240	0.1605	0.2116	0.2846	0.3920	0.5551	0.8128
29	0.1297	0.1679	0.2213	0.2977	0.4100	0.5807	0.8502
30	0.1355	0.1753	0.2311	0.3108	0.4281	0.6063	0.8877

Iterasi ke-	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %	75 %	80 %
31	0.1412	0.1827	0.2408	0.3239	0.4461	0.6319	0.9251
32	0.1469	0.1901	0.2506	0.3370	0.4642	0.6574	0.9625
33	0.1526	0.1975	0.2603	0.3501	0.4822	0.6830	1.0000
34	0.1583	0.2049	0.2701	0.3633	0.5003	0.7086	1.0375
35	0.1640	0.2123	0.2798	0.3764	0.5184	0.7342	1.0749
36	0.1697	0.2197	0.2896	0.3895	0.5364	0.7597	1.1123
37	0.1755	0.2271	0.2993	0.4026	0.5545	0.7853	1.1498
38	0.1812	0.2345	0.3091	0.4157	0.5726	0.8109	1.1872
39	0.1869	0.2419	0.3188	0.4288	0.5906	0.8365	1.2247
40	0.1926	0.2493	0.3286	0.4419	0.6087	0.8621	1.2622
41	0.1983	0.2567	0.3383	0.4550	0.6267	0.8876	1.2996
42	0.2040	0.2641	0.3480	0.4681	0.6448	0.9132	1.3370
43	0.2097	0.2715	0.3578	0.4813	0.6629	0.9388	1.3745
44	0.2154	0.2789	0.3675	0.4944	0.6809	0.9644	1.4119
45	0.2212	0.2863	0.3773	0.5075	0.6989	0.9899	1.4493
46	0.2269	0.2937	0.3870	0.5206	0.7170	1.0155	1.4867
47	0.2326	0.3011	0.3967	0.5336	0.7350	1.0410	1.5241
48	0.2382	0.3084	0.4064	0.5466	0.7529	1.0663	1.5612
49	0.2439	0.3157	0.4160	0.5595	0.7707	1.0915	1.5981
50	0.2494	0.3229	0.4255	0.5723	0.7882	1.1163	1.6344
51	0.2548	0.3299	0.4347	0.5847	0.8053	1.1405	1.6699
52	0.2600	0.3366	0.4435	0.5966	0.8217	1.1638	1.7039
53	0.2649	0.3429	0.4519	0.6078	0.8371	1.1856	1.7358
54	0.2693	0.3486	0.4594	0.6179	0.8511	1.2054	1.7648
55	0.2732	0.3536	0.4660	0.6268	0.8633	1.2227	1.7902
56	0.2764	0.3578	0.4715	0.6342	0.8735	1.2371	1.8113
57	0.2789	0.3611	0.4758	0.6400	0.8815	1.2485	1.8279
58	0.2808	0.3635	0.4790	0.6443	0.8875	1.2569	1.8403
59	0.2822	0.3653	0.4814	0.6475	0.8918	1.2630	1.8492
60	0.2832	0.3666	0.4831	0.6498	0.8950	1.2675	1.8558
61	0.2840	0.3676	0.4845	0.6517	0.8976	1.2712	1.8612
62	0.2848	0.3687	0.4859	0.6535	0.9001	1.2748	1.8665

C.2 Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Darah pada Arteri *Intracranial stenosis* Penyebab Stroke Iskemik yang Dipengaruhi Oleh Ketebalan Plak 50% - 80% saat Kondisi Beraktivitas

Iterasi ke-	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %	75 %	80 %
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003	0.0005	0.0007	0.0010
3	0.0007	0.0009	0.0012	0.0015	0.0021	0.0030	0.0044
4	0.0017	0.0021	0.0028	0.0038	0.0052	0.0074	0.0109
5	0.0031	0.0040	0.0053	0.0071	0.0098	0.0139	0.0204
6	0.0050	0.0065	0.0086	0.0115	0.0159	0.0225	0.0329
7	0.0074	0.0096	0.0126	0.0169	0.0233	0.0331	0.0484
8	0.0102	0.0132	0.0174	0.0234	0.0323	0.0457	0.0670
9	0.0135	0.0175	0.0230	0.0310	0.0427	0.0605	0.0885
10	0.0173	0.0223	0.0294	0.0396	0.0545	0.0772	0.1131
11	0.0214	0.0278	0.0366	0.0492	0.0678	0.0960	0.1405
12	0.0260	0.0337	0.0444	0.0597	0.0823	0.1165	0.1706
13	0.0310	0.0401	0.0528	0.0710	0.0979	0.1386	0.2029
14	0.0361	0.0467	0.0616	0.0829	0.1141	0.1616	0.2366
15	0.0413	0.0535	0.0705	0.0948	0.1306	0.1850	0.2708
16	0.0465	0.0602	0.0793	0.1067	0.1469	0.2081	0.3047
17	0.0516	0.0668	0.0880	0.1183	0.1630	0.2308	0.3379
18	0.0566	0.0733	0.0966	0.1299	0.1789	0.2534	0.3710
19	0.0617	0.0798	0.1052	0.1415	0.1949	0.2761	0.4042
20	0.0668	0.0865	0.1140	0.1533	0.2111	0.2990	0.4378
21	0.0719	0.0931	0.1227	0.1650	0.2273	0.3219	0.4713
22	0.0770	0.0997	0.1314	0.1767	0.2433	0.3446	0.5046
23	0.0821	0.1062	0.1400	0.1883	0.2594	0.3674	0.5378
24	0.0872	0.1128	0.1487	0.2000	0.2755	0.3902	0.5713
25	0.0923	0.1195	0.1574	0.2117	0.2916	0.4131	0.6048
26	0.0974	0.1260	0.1661	0.2234	0.3077	0.4358	0.6381
27	0.1024	0.1326	0.1748	0.2351	0.3238	0.4586	0.6714
28	0.1075	0.1392	0.1835	0.2468	0.3399	0.4814	0.7048
29	0.1127	0.1458	0.1922	0.2585	0.3560	0.5042	0.7382
30	0.1177	0.1524	0.2008	0.2701	0.3721	0.5270	0.7716
31	0.1228	0.1590	0.2095	0.2818	0.3882	0.5498	0.8049
32	0.1279	0.1656	0.2182	0.2935	0.4043	0.5726	0.8383
33	0.1330	0.1722	0.2269	0.3052	0.4204	0.5954	0.8717
34	0.1381	0.1788	0.2356	0.3169	0.4365	0.6182	0.9050
35	0.1432	0.1854	0.2443	0.3286	0.4526	0.6410	0.9384

Iterasi ke-	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %	75 %	80 %
36	0.1483	0.1920	0.2530	0.3403	0.4687	0.6638	0.9719
37	0.1534	0.1986	0.2617	0.3519	0.4848	0.6866	1.0052
38	0.1585	0.2052	0.2704	0.3636	0.5009	0.7094	1.0386
39	0.1636	0.2118	0.2790	0.3753	0.5170	0.7322	1.0720
40	0.1687	0.2183	0.2877	0.3870	0.5331	0.7550	1.1053
41	0.1738	0.2249	0.2964	0.3987	0.5491	0.7777	1.1387
42	0.1789	0.2315	0.3051	0.4104	0.5653	0.8006	1.1721
43	0.1839	0.2381	0.3138	0.4221	0.5813	0.8234	1.2055
44	0.1890	0.2447	0.3225	0.4338	0.5974	0.8461	1.2388
45	0.1941	0.2513	0.3312	0.4454	0.6135	0.8690	1.2722
46	0.1992	0.2579	0.3399	0.4571	0.6296	0.8917	1.3056
47	0.2043	0.2645	0.3485	0.4688	0.6457	0.9145	1.3390
48	0.2094	0.2711	0.3572	0.4805	0.6618	0.9373	1.3723
49	0.2145	0.2777	0.3659	0.4922	0.6779	0.9601	1.4057
50	0.2196	0.2843	0.3746	0.5039	0.6940	0.9829	1.4391
51	0.2247	0.2909	0.3833	0.5155	0.7101	1.0057	1.4724
52	0.2298	0.2974	0.3920	0.5272	0.7262	1.0285	1.5058
53	0.2348	0.3040	0.4006	0.5389	0.7422	1.0512	1.5390
54	0.2399	0.3105	0.4092	0.5505	0.7582	1.0738	1.5721
55	0.2449	0.3170	0.4178	0.5620	0.7740	1.0962	1.6050
56	0.2499	0.3235	0.4262	0.5733	0.7897	1.1184	1.6374
57	0.2547	0.3297	0.4345	0.5844	0.8050	1.1401	1.6692
58	0.2594	0.3358	0.4425	0.5952	0.8197	1.1610	1.6998
59	0.2638	0.3415	0.4500	0.6053	0.8337	1.1808	1.7288
60	0.2679	0.3468	0.4570	0.6147	0.8466	1.1990	1.7555
61	0.2715	0.3515	0.4632	0.6230	0.8581	1.2154	1.7794
62	0.2746	0.3555	0.4685	0.6302	0.8680	1.2294	1.7999
63	0.2772	0.3589	0.4729	0.6361	0.8762	1.2409	1.8168
64	0.2793	0.3615	0.4764	0.6408	0.8826	1.2500	1.8301
65	0.2808	0.3635	0.4791	0.6443	0.8875	1.2570	1.8403
66	0.2820	0.3651	0.4811	0.6471	0.8912	1.2622	1.8480
67	0.2829	0.3662	0.4826	0.6492	0.8941	1.2663	1.8541
68	0.2837	0.3672	0.4839	0.6509	0.8965	1.2697	1.8590
69	0.2844	0.3681	0.4851	0.6525	0.8987	1.2729	1.8636
70	0.2851	0.3691	0.4864	0.6542	0.9011	1.2761	1.8684
71	0.2860	0.3702	0.4879	0.6563	0.9039	1.2802	1.8743
72	0.2873	0.3719	0.4900	0.6591	0.9078	1.2858	1.8825

C.3 Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Darah pada Arteri *Intracranial stenosis* Penyebab Stroke Iskemik dengan Kecepatan Awal 0.2 m/s, 0.4 m/s dan 0.6 m/s saat Kondisi Istirahat

Iterasi ke-	0.2 m/s (m/s)	0.4 m/s (m/s)	0.6 m/s (m/s)
1	0	0	0
2	0.00041615	0.00090565	0.0015122
3	0.0013016	0.003079	0.0055476
4	0.00234	0.0062051	0.012042
5	0.0036121	0.010573	0.021375
6	0.0051734	0.016205	0.033387
7	0.0070522	0.023027	0.048021
8	0.0092544	0.031003	0.065361
9	0.011772	0.040162	0.085415
10	0.014592	0.050533	0.10813
11	0.017703	0.062113	0.13352
12	0.021102	0.074878	0.16161
13	0.024789	0.088822	0.19239
14	0.028771	0.10396	0.22584
15	0.033054	0.1203	0.26197
16	0.037642	0.13784	0.3008
17	0.042534	0.15656	0.34231
18	0.047727	0.17647	0.38649
19	0.053218	0.19758	0.43337
20	0.059003	0.21989	0.48293
21	0.065083	0.24339	0.53518
22	0.071457	0.26807	0.5901
23	0.07813	0.29395	0.64771
24	0.085103	0.32102	0.70802
25	0.092378	0.3493	0.77099
26	0.099953	0.37876	0.83666
27	0.10783	0.40941	0.90501
28	0.116	0.44126	0.97605
29	0.12447	0.4743	1.0498
30	0.13323	0.50853	1.1262

Iterasi ke-	0.2 m/s (m/s)	0.4 m/s (m/s)	0.6 m/s (m/s)
31	0.14229	0.54396	1.2052
32	0.15165	0.58058	1.287
33	0.16131	0.61839	1.3714
34	0.17127	0.65739	1.4585
35	0.18153	0.69759	1.5482
36	0.19208	0.73898	1.6404
37	0.20294	0.78157	1.735
38	0.21409	0.82534	1.8318
39	0.22554	0.87031	1.9305
40	0.23728	0.91648	2.0308
41	0.24933	0.96383	2.1321
42	0.26167	1.0124	2.2338
43	0.27432	1.0621	2.3356
44	0.28726	1.1131	2.4369
45	0.3005	1.1652	2.5375
46	0.31404	1.2185	2.6376
47	0.32787	1.273	2.7374
48	0.34201	1.3287	2.8372
49	0.35644	1.3856	2.9374
50	0.37117	1.4437	3.0379
51	0.38619	1.5029	3.1387
52	0.40152	1.5633	3.2395
53	0.41715	1.6249	3.34
54	0.43307	1.6875	3.4403
55	0.4493	1.7513	3.5404
56	0.46581	1.816	3.6406
57	0.48263	1.8815	3.7411
58	0.49975	1.9479	3.8417
59	0.51716	2.0149	3.9423
60	0.53488	2.0823	4.0427
61	0.55289	2.15	4.1429
62	0.5712	2.2178	4.2432

C.4 Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Darah pada Arteri *Intracranial stenosis* Penyebab Stroke Iskemik dengan Kecepatan Awal 0.2 m/s, 0.4 m/s dan 0.6 m/s saat Kondisi Beraktivitas

Iterasi ke-	0.2 m/s (m/s)	0.4 m/s (m/s)	0.6 m/s (m/s)
1	0	0	0
2	0.00037829	0.00082326	0.0013746
3	0.0011832	0.0027989	0.0050429
4	0.0021271	0.0056406	0.010947
5	0.0032835	0.009611	0.01943
6	0.0047028	0.014731	0.030349
7	0.0064106	0.020932	0.043652
8	0.0084125	0.028183	0.059415
9	0.010701	0.036508	0.077644
10	0.013264	0.045936	0.098294
11	0.016093	0.056463	0.12137
12	0.019182	0.068066	0.14691
13	0.022534	0.080742	0.17489
14	0.026154	0.094501	0.20529
15	0.030047	0.10935	0.23814
16	0.034217	0.1253	0.27343
17	0.038664	0.14232	0.31117
18	0.043385	0.16042	0.35133
19	0.048377	0.1796	0.39394
20	0.053636	0.19988	0.439
21	0.059162	0.22124	0.48649
22	0.064957	0.24369	0.53642
23	0.071022	0.26721	0.58879
24	0.077361	0.29182	0.6436
25	0.083974	0.31752	0.70085
26	0.09086	0.3443	0.76054
27	0.098018	0.37217	0.82268
28	0.10545	0.40111	0.88725
29	0.11314	0.43115	0.95426
30	0.12111	0.46227	1.0237
31	0.12935	0.49447	1.0956
32	0.13785	0.52776	1.1699
33	0.14663	0.56213	1.2467
34	0.15569	0.59759	1.3258
35	0.16501	0.63413	1.4073

Iterasi ke-	0.2 m/s (m/s)	0.4 m/s (m/s)	0.6 m/s (m/s)
36	0.17461	0.67175	1.4911
37	0.18448	0.71046	1.5771
38	0.19461	0.75026	1.6651
39	0.20502	0.79114	1.7549
40	0.2157	0.8331	1.846
41	0.22665	0.87615	1.9381
42	0.23787	0.92028	2.0306
43	0.24936	0.9655	2.1231
44	0.26113	1.0118	2.2152
45	0.27316	1.0592	2.3067
46	0.28547	1.1077	2.3977
47	0.29804	1.1572	2.4884
48	0.31089	1.2078	2.5791
49	0.32401	1.2596	2.6701
50	0.3374	1.3123	2.7615
51	0.35106	1.3662	2.8532
52	0.365	1.4211	2.9448
53	0.3792	1.4771	3.0362
54	0.39368	1.534	3.1273
55	0.40842	1.5919	3.2183
56	0.42344	1.6507	3.3094
57	0.43872	1.7104	3.4007
58	0.45428	1.7707	3.4922
59	0.47011	1.8316	3.5837
60	0.48622	1.8929	3.6749
61	0.50259	1.9544	3.766
62	0.51923	2.016	3.8572
63	0.53615	2.0776	3.9484
64	0.55333	2.1389	4.0399
65	0.57079	2.1999	4.1313
66	0.58852	2.2607	4.2225
67	0.60652	2.3213	4.3137
68	0.62479	2.3818	4.4049
69	0.64333	2.4423	4.4962
70	0.66214	2.503	4.5876
71	0.68123	2.5638	4.6789
72	0.70058	2.6248	4.7701

LAMPIRAN D. HASIL PERHITUNGAN *ERROR RELATIF*D.1 Hasil Perhitungan Error Relatif Kecepatan Aliran Darah pada Arteri *Intracranial stenosis* Penyebab Stroke Iskemik yang Dipengaruhi Oleh Ketebalan Plak 50%, 65%, dan 80%

```
-----  
SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN DARAH  
dipengaruhi oleh ketebalan plak  
Menggunakan Metode Gauss Seidel  
-----  
Pilihan kondisi:  
a. Kondisi istirahat  
b. Kondisi beraktivitas  
  
Pilih opsi kondisi yang diinginkan = a  
-----  
Banyaknya node global y:203  
besarnya error= 0.001  
besarnya relatif error= 0.0011094  
>> |  
  
-----  
SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN DARAH  
dipengaruhi oleh ketebalan plak  
Menggunakan Metode Gauss Seidel  
-----  
Pilihan kondisi:  
a. Kondisi istirahat  
b. Kondisi beraktivitas  
  
Pilih opsi kondisi yang diinginkan = b  
-----  
Banyaknya node global y:203  
besarnya error= 0.001  
besarnya relatif error= 0.0011094  
>> |
```

D.2 Hasil Perhitungan Error Relatif Kecepatan Aliran Darah pada Arteri *Intracranial stenosis* Penyebab Stroke Iskemik dengan Kecepatan Awal 0.2 m/s, 0.4 m/s dan 0.6 m/s

```
-----  
SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN DARAH  
dipengaruhi oleh kecepatan awal  
Menggunakan Metode Gauss Seidel  
-----  
Pilihan kondisi:  
a. Kondisi istirahat  
b. Kondisi beraktivitas  
  
Pilih opsi kondisi yang diinginkan = a  
-----  
Banyaknya node global y:203  
besarnya error= 0.001  
besarnya relatif error= 0.001113  
>>  
  
-----  
SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN DARAH  
dipengaruhi oleh kecepatan awal  
Menggunakan Metode Gauss Seidel  
-----  
Pilihan kondisi:  
a. Kondisi istirahat  
b. Kondisi beraktivitas  
  
Pilih opsi kondisi yang diinginkan = b  
-----  
Banyaknya node global y:203  
besarnya error= 0.001  
besarnya relatif error= 0.001113  
>> |
```

LAMPIRAN E. PEDOMAN VALIDASI

PEDOMAN VALIDASI
TUGAS AKHIR SARJANA PENDIDIKAN MATEMATIKA

NAMA MAHASISWA : ARIF SAPTA MANDALA
 NIM : 140210101098
 JUDUL SKRIPSI : ANALISIS NUMERIK ALIRAN DARAH PADA
 ARTERI *INTRACRANIAL STENOSIS*
 PENYEBAB STROKE ISKEMIK MENGGUNAKAN
 METODE ELEMEN HINGGA DALAM MENGASAH
 TCK

Petunjuk!

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

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
TK (<i>Technological Knowledge</i>)	Peneliti mampu menuliskan bahasa pemograman untuk menyelesaikan model matematika kecepatan aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> penyebab stroke iskemik menggunakan metode elemen hingga pada MATLAB.					
	Peneliti mampu membuat bentuk geometri pada benda yang akan diteliti pada GAMBIT.					
	Peneliti mampu menentukan tipe batas tertentu (<i>wall, inlet, outlet</i>) pada bentuk geometri benda.					

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
TK (<i>Technological Knowledge</i>)	Peneliti mampu menentukan kondisi batas pada setiap variabel keadaan sebagai input data pada fluent.					
	Peneliti mampu membuat simulasi kecepatan aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> penyebab stroke iskemik menggunakan FLUENT.					
CK (<i>Content Knowledge</i>)	Peneliti memiliki pengetahuan cukup tentang kecepatan aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> penyebab stroke iskemik menggunakan metode elemen hingga.					
	Peneliti mampu menentukan variabel keadaan yang akan diteliti.					
	Peneliti mampu mengembangkan model matematika aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> penyebab stroke iskemik.					
	Peneliti mampu menyelesaikan model matematika aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> penyebab stroke iskemik menggunakan metode elemen hingga.					
	Peneliti mampu menganalisis hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.					

IDENTITAS VALIDATOR

NAMA :

Jember,
Validator,

(.....)

LAMPIRAN F. LEMBAR ANALISIS HASIL VALIDASI

Hasil analisis validasi oleh validator dijelaskan pada tabel berikut.

Aspek Variabel	Indikator	Penilaian Validator ke-					I_i	A_i	Capaian Teoritis	Capaian Validasi	Capaian Kumulatif Teoritis	Capaian Kumulatif Validasi	V_a
		1	2	3	4	5							
TK	1a	4	4	5	4	5	4.4	4.48	50%	44.8%	50%	44.8%	4.38
	1b	5	5	5	5	4	4.8						
	1c	4	5	5	4	4	4.4						
	1d	4	4	4	4	5	4.2						
	1e	5	5	4	5	4	4.6						
CK	2a	4	4	3	4	5	4	4.28	50%	42.8%	100%	87.6%	
	2b	5	5	3	5	4	4.4						
	2c	4	5	4	4	5	4.4						
	2d	4	4	5	4	4	4.2						
	2e	5	5	4	5	3	4.4						

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

LAMPIRAN G. LEMBAR PENILAIAN VALIDASI

G.1 Penilaian Validator 1

115

LAMPIRAN E. PEDOMAN VALIDASI

PEDOMAN VALIDASI
TUGAS AKHIR SARJANA PENDIDIKAN MATEMATIKA

NAMA MAHASISWA : ARIF SAPTA MANDALA
NIM : 140210101098
JUDUL SKRIPSI : ANALISIS NUMERIK ALIRAN DARAH PADA ARTERI *INTRACRANIAL STENOSIS* AKIBAT STROKE ISKEMIK MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA DALAM MENGASAH TCK

Petunjuk!

a) Berilah tanda (✓) dalam kolom penilaian yang sesuai menurut pendapat Anda.

b) Rubrik Penilaian:

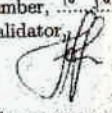
- 1: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun TIDAK JELAS;
- 2: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun KURANG JELAS;
- 3: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun CUKUP JELAS;
- 4: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun JELAS;
- 5: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun SANGAT JELAS.

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
TK (<i>Technological Knowledge</i>)	Peneliti mampu menuliskan bahasa pemrograman untuk menyelesaikan model matematika kecepatan aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik menggunakan metode elemen hingga pada MATLAB.				✓	
	Peneliti mampu membuat bentuk geometri pada benda yang akan diteliti pada GAMBIT.					✓
	Peneliti mampu menentukan tipe batas tertentu (<i>wall, inlet, outlet</i>) pada bentuk geometri benda.				✓	

116

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
TK (<i>Technological Knowledge</i>)	Peneliti mampu menentukan kondisi batas pada setiap variabel keadaan sebagai input data pada fluent.				✓	
	Peneliti mampu membuat simulasi kecepatan aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik menggunakan FLUENT.					✓
CK (<i>Content Knowledge</i>)	Peneliti memiliki pengetahuan cukup tentang kecepatan aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik menggunakan metode elemen hingga.				✓	
	Peneliti mampu menentukan variabel keadaan yang akan diteliti.					✓
	Peneliti mampu mengembangkan model matematika aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik.				✓	
	Peneliti mampu menyelesaikan model matematika aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik menggunakan metode elemen hingga.				✓	
	Peneliti mampu menganalisis hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.					✓

IDENTITAS VALIDATOR

NAMA : RISKA AMALIA HARIM, S.PdJember, 10 Juli 2018
Validator,

 (RISKA AMALIA HARIM, S.Pd)

G.2 Penilaian Validator 2

115

LAMPIRAN E. PEDOMAN VALIDASI

PEDOMAN VALIDASI
TUGAS AKHIR SARJANA PENDIDIKAN MATEMATIKA

NAMA MAHASISWA : ARIF SAPTA MANDALA
NIM : 140210101098
JUDUL SKRIPSI : ANALISIS NUMERIK ALIRAN DARAH PADA ARTERI *INTRACRANIAL STENOSIS* AKIBAT STROKE ISKEMIK MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA DALAM MENGASAH TCK

Petunjuk!

a) Berilah tanda (✓) dalam kolom penilaian yang sesuai menurut pendapat Anda.

b) Rubrik Penilaian:

- 1: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun TIDAK JELAS;
- 2: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun KURANG JELAS;
- 3: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun CUKUP JELAS;
- 4: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun JELAS;
- 5: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun SANGAT JELAS.

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
TK (<i>Technological Knowledge</i>)	Peneliti mampu menuliskan bahasa pemrograman untuk menyelesaikan model matematika kecepatan aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik menggunakan metode elemen hingga pada MATLAB.				✓	
	Peneliti mampu membuat bentuk geometri pada benda yang akan diteliti pada GAMBIT.					✓
	Peneliti mampu menentukan tipe batas tertentu (<i>wall, inlet, outlet</i>) pada bentuk geometri benda.					✓

116

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
TK (<i>Technological Knowledge</i>)	Peneliti mampu menentukan kondisi batas pada setiap variabel keadaan sebagai input data pada fluent.				✓	
	Peneliti mampu membuat simulasi kecepatan aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik menggunakan FLUENT.					✓
CK (<i>Content Knowledge</i>)	Peneliti memiliki pengetahuan cukup tentang kecepatan aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik menggunakan metode elemen hingga.				✓	
	Peneliti mampu menentukan variabel keadaan yang akan diteliti.					✓
	Peneliti mampu mengembangkan model matematika aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik.					✓
	Peneliti mampu menyelesaikan model matematika aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik menggunakan metode elemen hingga.				✓	
	Peneliti mampu menganalisis hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.					✓

IDENTITAS VALIDATOR

NAMA : Budi Adi S, s.pd.Jember, 09 Juli 2018
Validator,

(Budi Adi S, s.pd.)

G.3 Penilaian Validator 3

115

LAMPIRAN E. PEDOMAN VALIDASI

PEDOMAN VALIDASI
TUGAS AKHIR SARJANA PENDIDIKAN MATEMATIKA

NAMA MAHASISWA : ARIF SAPTA MANDALA
 NIM : 140210101098
 JUDUL SKRIPSI : ANALISIS NUMERIK ALIRAN DARAH PADA
 ARTERI *INTRACRANIAL STENOSIS*
 AKIBAT STROKE ISKEMIK MENGGUNAKAN
 METODE ELEMEN HINGGA DALAM MENGASAH
 TCK

Petunjuk!

a) Berilah tanda (✓) dalam kolom penilaian yang sesuai menurut pendapat Anda.

b) Rubrik Penilaian:

- 1: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun TIDAK JELAS;
- 2: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun KURANG JELAS;
- 3: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun CUKUP JELAS;
- 4: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun JELAS;
- 5: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun SANGAT JELAS.


Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
TK (<i>Technological Knowledge</i>)	Peneliti mampu memuliskan bahasa pemrograman untuk menyelesaikan model matematika kecepatan aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik menggunakan metode elemen hingga pada MATLAB.					✓
	Peneliti mampu membuat bentuk geometri pada benda yang akan diteliti pada GAMBIT.					✓
	Peneliti mampu menentukan tipe batas tertentu (<i>wall, inlet, outlet</i>) pada bentuk geometri benda.					✓

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
TK (<i>Technological Knowledge</i>)	Peneliti mampu menentukan kondisi batas pada setiap variabel keadaan sebagai input data pada fluent.				✓	
	Peneliti mampu membuat simulasi kecepatan aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik menggunakan FLUENT.				✓	
CK (<i>Content Knowledge</i>)	Peneliti memiliki pengetahuan cukup tentang kecepatan aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik menggunakan metode elemen hingga.			✓		
	Peneliti mampu menentukan variabel keadaan yang akan diteliti.			✓		
	Peneliti mampu mengembangkan model matematika aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik.				✓	
	Peneliti mampu menyelesaikan model matematika aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik menggunakan metode elemen hingga.					✓
	Peneliti mampu menganalisis hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.				✓	

IDENTITAS VALIDATOR

NAMA : AHMAD RIZQI LAZUARDI S.Pd.

Jember, 10 Juli 2018
Validator,


(A. Rizqi Lazuardi S.Pd.)

G.4 Penilaian Validator 4

115

LAMPIRAN E. PEDOMAN VALIDASI

PEDOMAN VALIDASI
TUGAS AKHIR SARJANA PENDIDIKAN MATEMATIKA

NAMA MAHASISWA : ARIF SAPTA MANDALA
 NIM : 140210101098
 JUDUL SKRIPSI : ANALISIS NUMERIK ALIRAN DARAH PADA
 ARTERI *INTRACRANIAL STENOSIS*
 AKIBAT STROKE ISKEMIK MENGGUNAKAN
 METODE ELEMEN HINGGA DALAM MENGASAH
 TCK

Petunjuk!

a) Berilah tanda (✓) dalam kolom penilaian yang sesuai menurut pendapat Anda.

b) Rubrik Penilaian:

- 1: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun TIDAK JELAS;
- 2: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun KURANG JELAS;
- 3: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun CUKUP JELAS;
- 4: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun JELAS;
- 5: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun SANGAT JELAS.

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
TK (<i>Technological Knowledge</i>)	Peneliti mampu menuliskan bahasa pemrograman untuk menyelesaikan model matematika kecepatan aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik menggunakan metode elemen hingga pada MATLAB.				✓	
	Peneliti mampu membuat bentuk geometri pada benda yang akan diteliti pada GAMBIT.					✓
	Peneliti mampu menentukan tipe batas tertentu (<i>wall, inlet, outlet</i>) pada bentuk geometri benda.				✓	

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
TK (<i>Technological Knowledge</i>)	Peneliti mampu menentukan kondisi batas pada setiap variabel keadaan sebagai input data pada fluent.				✓	
	Peneliti mampu membuat simulasi kecepatan aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik menggunakan FLUENT.					✓
CK (<i>Content Knowledge</i>)	Peneliti memiliki pengetahuan cukup tentang kecepatan aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik menggunakan metode elemen hingga.				✓	
	Peneliti mampu menentukan variabel keadaan yang akan diteliti.					✓
	Peneliti mampu mengembangkan model matematika aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik.				✓	
	Peneliti mampu menyelesaikan model matematika aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik menggunakan metode elemen hingga.				✓	
	Peneliti mampu mengautentikasi hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.					✓

IDENTITAS VALIDATOR

NAMA : Siti Aisyah

Jember, 09 Juli 2018

Validator,


(.....SITI AISYAH.....)

G.5 Penilaian Validator 5

115

LAMPIRAN E. PEDOMAN VALIDASI

PEDOMAN VALIDASI
TUGAS AKHIR SARJANA PENDIDIKAN MATEMATIKA

NAMA MAHASISWA : ARIF SAPTA MANDALA
 NIM : 140210101098
 JUDUL SKRIPSI : ANALISIS NUMERIK ALIRAN DARAH PADA
 ARTERI *INTRACRANIAL STENOSIS*
 AKIBAT STROKE ISKEMIK MENGGUNAKAN
 METODE ELEMEN HINGGA DALAM MENGASAH
 TCK

Petunjuk!

a) Berilah tanda (✓) dalam kolom penilaian yang sesuai menurut pendapat Anda.

b) Rubrik Penilaian:

- 1: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun TIDAK JELAS;
- 2: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun KURANG JELAS;
- 3: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun CUKUP JELAS;
- 4: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun JELAS;
- 5: mampu menunjukkan indikator yang diinginkan namun SANGAT JELAS.


Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
TK (<i>Technological Knowledge</i>)	Peneliti mampu menuliskan bahasa pemrograman untuk menyelesaikan model matematika kecepatan aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik menggunakan metode elemen hingga pada MATLAB.					✓
	Peneliti mampu membuat bentuk geometri pada benda yang akan diteliti pada GAMBIT.				✓	
	Peneliti mampu menentukan tipe batas tertentu (<i>wall, inlet, outlet</i>) pada bentuk geometri benda.				✓	

116


Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
TK (<i>Technological Knowledge</i>)	Peneliti mampu menentukan kondisi batas pada setiap variabel keadaan sebagai input data pada fluent.					✓
	Peneliti mampu membuat simulasi kecepatan aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik menggunakan FLUENT.				✓	
CK (<i>Content Knowledge</i>)	Peneliti memiliki pengetahuan cukup tentang kecepatan aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik menggunakan metode elemen hingga.					✓
	Peneliti mampu menentukan variabel keadaan yang akan diteliti.				✓	
	Peneliti mampu mengembangkan model matematika aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik.					✓
	Peneliti mampu menyelesaikan model matematika aliran darah pada arteri <i>Intracranial stenosis</i> akibat stroke iskemik menggunakan metode elemen hingga.				✓	
	Peneliti mampu menganalisis hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.			✓		

IDENTITAS VALIDATOR

NAMA : PUTRI NUR AMALINA

Jember, 10 Juli 2018
Validator,

 (PUTRI NUR A.)

LAMPIRAN H. LEMBAR REVISI SKRIPSI



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
 Jalan Kalimantan Nomor 37 Kampus Bumi Tegalboto Jember 68121
 Telepon: 0331-334988, 330738 Faks: 0331-334988
 Laman: www.ikip.tunjari.ac.id





LEMBAR REVISI SKRIPSI

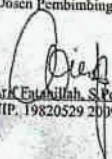
NAMA MAHASISWA : Arif Sapta Mandala
 NIM : 140210101098
 JUDUL SKRIPSI : Analisis Numerik Aliran Darah pada Arteri *Intracranial Stenosis* Penyebab Stroke Iskemik Menggunakan Metode Elemen Hingga dalam Mengasah TCK
 TANGGAL UJIAN : 27 Juli 2018
 PEMBIMBING : Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.
 Susi Setiawani, S. Si., M. Sc.


MATERI PEMBETULAN / PERBAIKAN


No.	HALAMAN	HAL-HAL YANG HARUS DIPERBAIKI
1.	i	Pergantian judul untuk "akibat" diganti menjadi "penyebab"
2.	9	Penambahan pengertian analisis numerik
3.	13	Gambar 2.6 di hapus
4.	17	Penulisan sumber gambar di rata kirikan
5.	48	Penjelasan tentang kondisi <i>rest</i> dan <i>exercise</i>
6.	87	Format <i>programming</i> MATLAB metode biasa diganti menjadi metode <i>eksak</i>


PERSETUJUAN TIM PENGUJI

JABATAN	NAMA TIM PENGUJI	TTD dan Tanggal
Ketua	Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.	
Sekretaris	Susi Setiawani, S.Si., M.Sc.	
Anggota	Drs. Toto Bara Setiawan, M.Si. Drs. Suharto, M.Kes.	 

Jember, 30 Juli 2018
 Mengetahui / menyetujui :
 Dosen Pembimbing I, 
 Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.
 NIP. 19820529 200912 1 003

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

Mahasiswa Yang Bersangkutan

 Arif Sapta Mandala
 NIM. 140210101098

Mengetahui,
 Ketua Jurusan P.MIPA

 Dra. Dwi Wahyuni, M.Kes.
 NIP. 19600304 198702 2 002