



**ANALISIS MODEL MATEMATIKA ALIRAN FLUIDA  
PADA HIDROFLUIDISASI EDAMAME MENGGUNAKAN  
METODE ELEMEN HINGGA UNTUK MENGASAH  
*TECHNOLOGICAL CONTENT KNOWLEDGE***

**SKRIPSI**

Oleh :

**Ratna Damayanti  
NIM 140210101066**

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

**2018**



**ANALISIS MODEL MATEMATIKA ALIRAN FLUIDA  
PADA HIDROFLUIDISASI EDAMAME MENGGUNAKAN  
METODE ELEMEN HINGGA UNTUK MENGASAH  
*TECHNOLOGICAL CONTENT KNOWLEDGE***

**SKRIPSI**

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

Oleh :

**Ratna Damayanti**  
**NIM 140210101066**

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

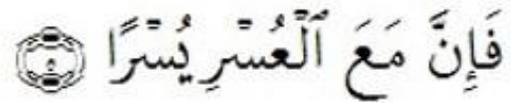
**2018**

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadirat Allah S.W.T., Tuhan yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi besar, Nabi Muhammad S.A.W., ku persembahkan sebuah rasa syukur dengan penuh kebahagiaan atas perjalanan dan perjuangan studiku teriring rasa terima kasihku yang terdalem kepada:

1. Bapak Ali Mustofa, Ibu Muntaromin, Bapak Basuni, dan Ibu Mujianti, yang senantiasa mencurahkan doa, rasa cinta dan kasih sayang serta adikku Ridwan Maulana, Rendy Putra Pratama, Oky Chita Sandy, dan Ika Dyah Wulandari yang senantiasa memberi semangat;
2. Ibu Susi Setiawani, S.Si., M.Sc. dan Bapak Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si. selaku pembimbing skripsi yang dengan sabar memberikan ilmu dan bimbingan selama menyelesaikan skripsi ini;
3. Para guru dan dosen, yang telah memberikan ilmu dan membimbing dalam banyak hal;
4. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
5. Teman-teman terdekatku Alfido Fauzy Zakaria, Dyah Prihastuti Nanda Hutami dan Lilavati Vijaganita Rahma;
6. Teman-teman seperjuangan Pemodelan Jimmy, Firda, Novi, dan Arif Sapta;
7. Teman-teman Pendidikan Matematika FKIP Universitas Jember Angkatan 2014;
8. Teman-teman KKMT Posdaya SMPN 1 Jember 2017 FKIP Universitas Jember;
9. Teman-teman kos Puteri Pratama (dek Nova, dek Ifa, Astri, dan Wida).

HALAMAN MOTTO



"Maka sesungguhnya beserta kesulitan itu ada kemudahan"

(Q.S. Al-Insyirah: 5)

"Do not pray for an easy life, pray for the strength to endure a difficult one."

- Bruce Lee -

"Mulailah dari tempatmu berada. Gunakan yang kau punya. Lakukan yang kau bisa."

- Arthur Ashe -

**HALAMAN PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ratna Damayanti

NIM : 140210101066

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul ” *Analisis Model Matematika Aliran Fluida pada Hidrofluidisasi Edamame Menggunakan Metode Elemen Hingga untuk Mengasah TCK*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 11 Juli 2018

Yang menyatakan,

Ratna Damayanti

NIM. 140210101066

HALAMAN PENGAJUAN

**ANALISIS MODEL MATEMATIKA ALIRAN FLUIDA  
PADA HIDROFLUIDISASI EDAMAME MENGGUNAKAN  
METODE ELEMEN HINGGA UNTUK MENGASAH TCK**

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

Oleh:

Nama : Ratna Damayanti  
NIM : 140210101066  
Tempat, tanggal Lahir : Blitar, 8 Maret 1997  
Jurusan / Program Studi : Pendidikan MIPA / Pendidikan Matematika

Disetujui oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,

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

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

**HALAMAN PENGESAHAN**

Skripsi berjudul : Analisis Model Matematika Aliran Fluida pada Hidrofluidisasi Edamame Menggunakan Metode Elemen Hingga untuk Mengasah *Technological Content Knowledge* telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan pada:

Hari : Rabu  
Tanggal : 11 Juli 2018  
Tempat : Gedung 3 FKIP UNEJ

Tim Penguji :

Ketua,

Sekretaris,

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

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

Anggota I,

Anggota II,

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

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 Model Matematika Aliran Fluida pada Hidrofluidisasi Edamame Menggunakan Metode Elemen Hingga untuk Mengasah TCK;** Ratna Damayanti, 140210101066; 2018: 74 halaman; Program Studi Pendidikan Matematika, Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

Komputasi dapat digunakan dalam bidang ilmu teknologi pertanian, salah satu diantaranya adalah mengenai pembekuan edamame. Edamame beku sebagai komoditi ekspor yang perlu diperhatikan proses pengolahannya guna menghasilkan edamame beku dengan kualitas unggul sesuai dengan standar luar negeri. Salah satu teknik pembekuan makanan yaitu hidrofluidisasi. Hidrofluidisasi menggunakan sistem sirkulasi dengan memompa cairan pendingin ke atas melalui lubang pelat ke dalam bejana pendingin. Cairan pendingin yang dipompa melalui lubang pelat bejana membutuhkan kecepatan aliran fluida yang tepat dimana kecepatan cairan pendingin di dalam bejana dipengaruhi oleh ukuran diameter lubang pelat bejana.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui model matematika aliran fluida pada hidrofluidisasi edamame, menyelesaikan model menggunakan metode elemen hingga, menganalisis pengaruh ukuran diameter lubang pelat bejana dan kecepatan awal terhadap kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame, menganalisis pola kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame dan efektivitas metode elemen hingga dalam menganalisis masalah kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame.

Langkah-langkah kegiatan penelitian meliputi penentuan model matematika kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame. Langkah selanjutnya setelah mendapatkan matriks global adalah membuat algoritma dan pemrograman MATLAB. Kemudian melakukan simulasi dengan FLUENT untuk mengetahui pola kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame.

Adapun hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Model matematika aliran fluida pada hidrofluidisasi edamame merupakan persamaan yang dinyatakan pada persamaan momentum sebagai berikut.

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial \rho v \phi_y}{\partial y} = F_D v + \rho + \rho \frac{\partial g}{\partial y} + F_{DEM}$$

dimana,

$$F_D = \frac{18\mu}{\rho_p D^2} \frac{C_D Re_D}{24}$$

$$F_{DEM} = (K\delta + \gamma ve)e$$

2. Kecepatan awal yang diberikan mempengaruhi besarnya kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame. Semakin besar kecepatan awal cairan pendingin maka kenaikan kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame semakin besar.
3. Ukuran diameter lubang pelat bejana juga mempengaruhi besarnya peningkatan kecepatan aliran cairan pendingin. Semakin besar diameter lubang pelat bejana maka kenaikan kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame semakin kecil.
4. Persamaan aliran cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame adalah model yang efektif dalam menyelesaikan pengaruh ukuran diameter lubang pelat bejana dan kecepatan awal cairan pendingin terhadap kecepatan aliran cairan pendingin di dalam bejana didapatkan error relatif 0.0038326 dan 0.002394 dengan tingkat toleransi kesalahan perhitungan 0.01.
5. Cara mengasah kemampuan *Technological Content Knowledge* (TCK) melalui analisis model matematika aliran fluida pada hidrofluidisasi edamame dengan menggunakan metode elemen hingga yaitu dengan 5 indikator TK (*Technological Knowledge*) dan 5 indikator CK (*Content Knowledge*) dengan rentang skor 1-5 pada setiap indikator dan divalidasi oleh 5 validator.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Analisis Model Matematika Aliran Cairan Pendingin pada Hidrofluidisasi Edamame Menggunakan Metode Elemen Hingga untuk 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 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 Universitas Jember;
5. Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
6. Dosen Pembahas dan Dosen Penguji yang telah memberikan masukan demi kesempurnaan skripsi ini;
7. Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan memberikan ilmu;
8. Dosen dan Karyawan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
9. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini.

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

Jember, 11 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL . . . . .	i
HALAMAN PERSEMBAHAN . . . . .	ii
HALAMAN MOTTO . . . . .	iii
HALAMAN PERNYATAAN . . . . .	iv
HALAMAN PENGAJUAN . . . . .	v
HALAMAN PENGESAHAN . . . . .	vi
RINGKASAN . . . . .	vii
KATA PENGANTAR . . . . .	ix
DAFTAR ISI . . . . .	xii
DAFTAR GAMBAR . . . . .	xiii
DAFTAR TABEL . . . . .	xiv
DAFTAR LAMBANG . . . . .	xv
<b>1 PENDAHULUAN . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang . . . . .	1
1.2 Rumusan Masalah . . . . .	4
1.3 Batasan Masalah . . . . .	4
1.4 Tujuan Penelitian . . . . .	4
1.5 Manfaat Penelitian . . . . .	5
1.6 Kebaharuan Penelitian . . . . .	5
<b>2 TINJAUAN PUSTAKA . . . . .</b>	<b>7</b>
2.1 Model dan Pemodelan Matematika . . . . .	7
2.2 Fluida . . . . .	8
2.2.1 Jenis-Jenis Fluida . . . . .	9
2.3 <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD) . . . . .	11
2.3.1 GAMBIT . . . . .	13
2.4 Algoritma dan Pemrograman MATLAB . . . . .	17
2.4.1 Algoritma . . . . .	17
2.4.2 Pemrograman MATLAB . . . . .	17
2.4.3 Metode Gauss Seidel . . . . .	20
2.4.4 Galat ( <i>Error</i> ) . . . . .	23

2.5	<b>Metode Elemen Hingga</b> . . . . .	25
2.5.1	Pendekatan Kuadratik . . . . .	26
2.5.2	Persamaan Momentum . . . . .	27
2.6	<b>Edamame</b> . . . . .	27
2.7	<b>Hidrofluidisasi</b> . . . . .	29
2.8	<b>Penelitian yang Relevan</b> . . . . .	30
2.9	<i>Technological Content Knowledge (TCK)</i> . . . . .	31
<b>3</b>	<b>METODE PENELITIAN</b> . . . . .	<b>33</b>
3.1	<b>Jenis Penelitian</b> . . . . .	33
3.2	<b>Tempat Penelitian</b> . . . . .	33
3.3	<b>Definisi Operasional</b> . . . . .	33
3.4	<b>Prosedur Penelitian</b> . . . . .	34
3.5	<b>Metode Pengumpulan Data</b> . . . . .	35
3.6	<b>Analisis Data</b> . . . . .	36
3.7	<b>Instrumen Validasi</b> . . . . .	37
3.8	<b>Metode Analisis Validasi</b> . . . . .	37
<b>4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> . . . . .	<b>39</b>
4.1	<b>Persamaan Momentum pada Hidrofluidisasi Edamame</b> . . . . .	39
4.2	<b>Penurunan Persamaan Momentum</b> . . . . .	41
4.2.1	Penyusunan Matriks Global . . . . .	47
4.3	<b>Persamaan Matriks Global terhadap Waktu</b> . . . . .	49
4.4	<b>Efektivitas Metode Elemen Hingga</b> . . . . .	51
4.4.1	Format <i>Programming</i> . . . . .	51
4.4.2	<i>Error Relatif</i> . . . . .	52
4.4.3	Simulasi Pemodelan . . . . .	54
4.5	<b>Analisis dan Pembahasan</b> . . . . .	54
4.5.1	Komputasi MATLAB . . . . .	55
4.5.2	Visualisasi Simulasi FLUENT . . . . .	60
4.6	<b>Analisis Cara Mengasah Kemampuan TCK</b> . . . . .	67
<b>5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> . . . . .	<b>69</b>
5.1	<b>Kesimpulan</b> . . . . .	69
5.2	<b>Saran</b> . . . . .	70
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b> . . . . .	<b>71</b>

LAMPIRAN . . . . .	75
A. Matrik Penelitian . . . . .	75
B. Format <i>Programming</i> MATLAB . . . . .	77
C. Hasil Simulasi MATLAB dengan Metode Eksak . . . . .	102
D. Hasil Simulasi MATLAB dengan Metode Gauss-Seidel . . . . .	104
E. Lembar Validasi . . . . .	106

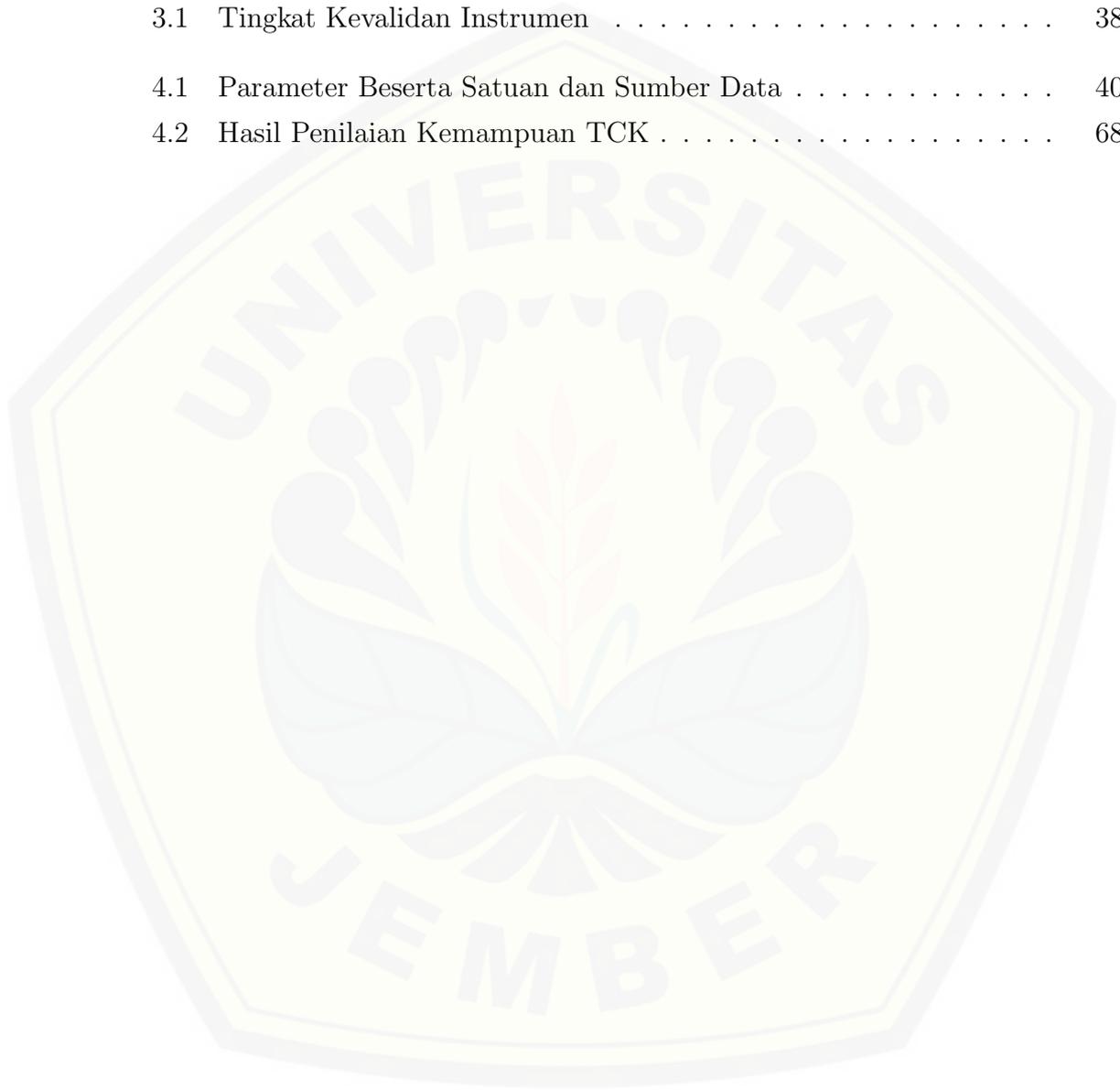


DAFTAR GAMBAR

2.1	Tahap pemodelan matematika . . . . .	8
2.2	Fluida gas . . . . .	9
2.3	Fluida cair . . . . .	10
2.4	Aliran laminar . . . . .	10
2.5	Aliran turbulen . . . . .	11
2.6	Aliran transisi . . . . .	11
2.7	Tampilan <i>software</i> GAMBIT versi 6.0 . . . . .	13
2.8	Tampilan <i>software</i> FLUENT versi 6.0 . . . . .	14
2.9	Contoh FLUENT . . . . .	15
2.10	Edamame . . . . .	27
2.11	Tangki eksperimen . . . . .	29
2.12	Bagian-bagian TPACK . . . . .	31
3.1	Diagram alir prosedur penelitian . . . . .	35
4.1	Grafik kecepatan cairan pendingin yang dipengaruhi oleh . . . . .	56
4.2	Grafik kecepatan cairan pendingin yang dipengaruhi oleh . . . . .	56
4.3	Grafik kecepatan cairan pendingin yang dipengaruhi oleh . . . . .	57
4.4	Grafik kecepatan cairan pendingin yang dipengaruhi oleh . . . . .	58
4.5	Grafik kecepatan cairan pendingin yang dipengaruhi oleh . . . . .	58
4.6	Grafik kecepatan cairan pendingin yang dipengaruhi oleh . . . . .	59
4.7	Desain bejana eksperimen menggunakan GAMBIT . . . . .	61
4.8	Simulasi kecepatan aliran cairan pendingin dengan $d = 0.01$ m . . . . .	61
4.9	Simulasi kecepatan aliran cairan pendingin dengan $d = 0.02$ m . . . . .	61
4.10	Simulasi kecepatan aliran cairan pendingin dengan $d = 0.03$ m . . . . .	62
4.11	Simulasi kecepatan aliran cairan pendingin dengan $v_0$ 1 m/s . . . . .	64
4.12	Simulasi kecepatan aliran cairan pendingin dengan $v_0$ 1.25 m/s . . . . .	64
4.13	Simulasi kecepatan aliran cairan pendingin dengan $v_0$ 1.5 m/s . . . . .	64

DAFTAR TABEL

2.1	Hasil Penelitian Terdahulu . . . . .	15
2.2	Nutrisi edamame . . . . .	28
3.1	Tingkat Kevalidan Instrumen . . . . .	38
4.1	Parameter Beserta Satuan dan Sumber Data . . . . .	40
4.2	Hasil Penilaian Kemampuan TCK . . . . .	68



DAFTAR LAMBANG



$[A]$	=	matriks kekakuan
$\{u\}$	=	vektor kolom
$F$	=	gaya
$F_D$	=	gaya tarik per satuan bola-bola edamame
$F_{DEM}$	=	gaya per satuan bola-bola edamame akibat interaksi antar bola-bola edamame yang diperkirakan dengan metode elemen hingga
$C_D$	=	koefisien hambatan
$Re_D$	=	bilangan Reynolds
$v$	=	kecepatan
$K$	=	konstanta pegas per satuan massa
$\delta$	=	tumpang tindih antar bola-bola
$\gamma$	=	koefisien damping
$e$	=	overlap lubang pelat bejana
$d$	=	diameter lubang pelat bejana
$l$	=	panjang bejana
$\mu$	=	kekentalan zat
$\rho$	=	massa jenis fluida
$\rho_p$	=	massa jenis edamame
$g$	=	gravitasi
$t$	=	waktu
$y$	=	sumbu y

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Matematika merupakan ilmu dasar yang berperan penting dalam pengembangan ilmu-ilmu lainnya. Matematika mampu menjadi ilmu yang sempurna ketika digunakan beriringan dengan ilmu-ilmu lainnya. Matematika terdiri dari beberapa cabang ilmu, salah satunya adalah pemodelan matematika. Pemodelan matematika pada dasarnya terdiri dari tiga tahap yaitu perumusan model matematika, penanganan model matematika dan penerjemahan hasil ke dalam situasi nyata (Santosa, 1984: 1). Konsep dan prinsip matematika banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Matematika sering digunakan untuk membantu dalam menyelesaikan berbagai permasalahan yang khususnya berkaitan dengan komputasi atau perhitungan pada sebagian disiplin ilmu tertentu. Selain itu matematika juga digunakan dalam bidang ilmu pertanian.

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi sumber daya alam yang melimpah khususnya dalam bidang pertanian. Luas lahan pertanian yang meningkat setiap tahunnya seiring dengan peningkatan hasil panen yang berdampak signifikan untuk memenuhi kebutuhan pangan di Indonesia, sehingga mampu meminimalisir impor bahan makanan dari negara lain. Kesuburan tanah di Indonesia yang cukup bagus merupakan salah satu faktor pendukung sektor pertanian di Indonesia. Salah satu hasil pertanian di Indonesia adalah kedelai.

Salah satu propinsi lumbung kedelai terbesar di Indonesia yaitu Propinsi Jawa Timur. Berdasarkan data aset Kabupaten Jember 2016, kedelai menyumbang sekitar 42% produksi kedelai nasional. Kedelai jenis edamame merupakan produk unggulan Kabupaten Jember karena memiliki berbagai keunggulan. Produktivitas yang tinggi dengan hasil panen 10-12 ton per hektar, sedangkan jenis kedelai lainnya yang berkisar 1,5-3 ton per hektar. Edamame di Kabupaten Jember saat ini dikembangkan di area pertanian yang berkisar 1.200 hektar yang merupakan milik perusahaan dan petani yang menjadi mitra (Setiawan, 2014).

Produksi dan luas area pertanian edamame yang cenderung meningkat harus diimbangi dengan peningkatan kualitas produk. Edamame beku sebagai komoditi ekspor perlu diperhatikan proses pengolahannya guna menghasilkan edamame beku dengan kualitas unggul sesuai dengan standar luar negeri.

Indonesia merupakan negara berkembang yang banyak mendirikan pabrik industri khususnya industri pembekuan makanan. Hidrofluidisasi merupakan salah satu teknik pembekuan menggunakan sistem sirkulasi dengan memompa cairan pendingin ke atas melalui lubang pelat ke dalam bejana pendingin, sehingga menimbulkan pergerakan jet cairan pendingin dan meningkatkan perpindahan panas ke makanan selama pembekuan (Verboven et al., 2003). Cairan pendingin yang dipompa melalui lubang pelat bejana membutuhkan panas dengan suhu dan kecepatan aliran fluida yang tepat. Selain itu, kecepatan cairan pendingin di dalam bejana dipengaruhi oleh ukuran diameter lubang pelat bejana.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Orona, Susana dan Juan mengenai perpindahan panas pada sistem hidrofluidisasi kentang dengan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dan *Discrete Element Method* (DEM) menyatakan bahwa CFD dan DEM dapat menjadi alat yang ampuh untuk mensimulasikan sistem pengolahan makanan. Sejumlah partikel makanan kecil atau besar bergerak dalam domain fluida. Perpindahan panas dalam domain makanan dipelajari melalui suhu di pusat geometri kentang diketahui bahwa semakin besar waktu dalam proses hidrofluidisasi maka semakin rendah suhu pada pusat geometri kentang. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem hidrofluidisasi tersebut dengan objek yang diteliti yaitu edamame. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan awal cairan pendingin dan ukuran diameter lubang pelat bejana terhadap kecepatan cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame. Penyelesaian model matematika dalam penelitian ini menggunakan metode elemen hingga dengan pendekatan kuadratik. Proses analisis dan simulasi model matematika tersebut menggunakan *software* MATLAB dan FLUENT.

Model matematika yang dianalisis dengan *software* MATLAB dan FLUENT dirumuskan berdasarkan permasalahan industri. Model matematika berkaitan erat dengan soal cerita yang disajikan berdasarkan permasalahan sehari-hari. Siswa harus memahami isi soal cerita yang telah disajikan, menentukan model

matematika yang sesuai dan menyelesaikan permasalahan tersebut. Sebanyak lebih dari 50% guru menyatakan bahwa sebagian besar siswa mengalami kesalahan dalam menyelesaikan soal cerita (Marsudi, 2008: 1). Hal ini dikarenakan oleh kurangnya keterampilan siswa dalam menerjemahkan kalimat sehari-hari ke dalam kalimat matematika. Oleh karena itu, penentuan model matematika dari suatu soal cerita harus dirumuskan dengan tepat sehingga diperoleh penyelesaian yang sesuai dengan kondisi sebenarnya.

Keterampilan menyelesaikan soal cerita yang dimiliki oleh siswa tidak terlepas dari kemampuan seorang guru di bidang materi tertentu (misalnya matematika). Selain itu, perkembangan teknologi yang semakin canggih dapat membantu seorang guru dalam menyelesaikan soal cerita. Keterampilan membangun model matematika dari soal cerita tersebut dapat diintegrasikan dengan teknologi yang sesuai untuk memperoleh penyelesaian yang tepat. Pengintegrasian suatu materi tertentu dengan teknologi tepat guna disebut dengan *Technological Content Knowledge* (TCK). TCK merupakan bagian dari kerangka *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK). TCK merupakan sebuah bentuk disintesis pengetahuan yang bertujuan untuk mengintegrasikan antara teknologi dengan materi tertentu. Bentuk integrasi tersebut dapat membantu pendidik agar lebih mudah dalam memberikan pemahaman kepada siswa mengenai materi yang akan disampaikan di dalam kelas dengan berbantuan teknologi yang sesuai. Selain itu peserta didik juga dapat lebih mudah dalam menyelesaikan permasalahan atau soal-soal yang diberikan ke dalam model matematika yang tepat. Berdasarkan hal tersebut, proses pengembangan model matematika dan penggunaan teknologi dalam penelitian ini digunakan untuk mengasah kemampuan TCK.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan aliran fluida pada proses pembekuan edamame dengan menggunakan teknik hidrofluidisasi. Edamame dipilih sebagai objek dalam penelitian ini karena kedelai merupakan salah satu dari tujuh riset unggulan Universitas Jember. Setiap langkah penelitian mulai dari pengembangan model matematika hingga analisis hasil penelitian akan digunakan untuk mengasah kemampuan TCK.

## 1.2 Rumusan Masalah

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

- 1) bagaimana model matematika aliran fluida pada hidrofuidisasi edamame?
- 2) bagaimana analisis pengaruh kecepatan awal cairan pendingin terhadap kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame dengan menggunakan metode elemen hingga?
- 3) bagaimana analisis pengaruh diameter lubang pelat terhadap kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame dengan menggunakan metode elemen hingga?
- 4) bagaimana efektivitas metode elemen hingga dalam menganalisis aliran fluida pada hidrofuidisasi edamame berdasarkan *error* yang diperoleh?
- 5) bagaimana cara mengasah kemampuan *Technological Content Knowledge* (TCK) melalui analisis model matematika aliran fluida pada hidrofuidisasi edamame dengan menggunakan metode elemen hingga?

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

- 1) model matematika aliran fluida pada hidrofuidisasi edamame;
- 2) proses yang dianalisis adalah kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame berdasarkan kecepatan awal cairan pendingin dan diameter lubang pelat;
- 3) edamame diasumsikan memiliki ukuran yang sama;
- 4) metode penyelesaian yang digunakan adalah metode elemen hingga dengan pendekatan kuadratik.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan latar belakang di atas, maka tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) untuk mengembangkan model matematika aliran fluida pada hidrofuidisasi edamame;
- 2) untuk mengetahui hasil analisis pengaruh kecepatan awal cairan pendingin terhadap kecepatan aliran cairan pendingin dalam bejana pada hidrofuidisasi edamame dengan menggunakan metode elemen hingga;

- 3) untuk mengetahui hasil analisis pengaruh diameter lubang pelat terhadap kecepatan aliran cairan pendingin dalam bejana pada hidrofuidisasi edamame dengan menggunakan metode elemen hingga;
- 4) untuk mengetahui efektivitas metode elemen hingga dalam menganalisis aliran fluida pada hidrofuidisasi edamame berdasarkan *error* yang diperoleh;
- 5) mengetahui cara mengasah kemampuan *Technological Content Knowledge* (TCK) melalui analisis model matematika aliran fluida pada hidrofuidisasi edamame dengan menggunakan metode elemen hingga.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) menambah pengetahuan baru bagi peneliti dalam bidang teknologi komputasi;
- 2) mengasah kemampuan *Technological Content Knowledge* (TCK) dalam mengembangkan model matematika aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame dan penggunaan *software* MATLAB dan FLUENT;
- 3) menambah pengetahuan peneliti dalam bidang pemodelan matematika dengan memberikan kontribusi terhadap berkembangnya pengetahuan baru dalam pemodelan matematika menggunakan metode elemen hingga di program studi Pendidikan Matematika FKIP Universitas Jember;
- 4) memberikan kontribusi kepada para produsen edamame untuk meningkatkan produktivitas edamame khususnya dalam optimasi teknologi pascapanen edamame.

### 1.6 Kebaharuan Penelitian

Adapun kebaruan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) model matematika dalam penelitian ini diselesaikan menggunakan metode elemen hingga dengan pendekatan kuadratik;
- 2) solusi numerik dari model matematika dalam penelitian ini akan diselesaikan dengan *software* MATLAB versi R2014a;
- 3) model matematika dalam penelitian ini akan disimulasikan menggunakan FLUENT versi 6.0;

- 4) proses pengembangan model matematika dan penggunaan teknologi dalam penelitian ini digunakan untuk mengasah kemampuan *Technological Content Knowledge* (TCK).



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Model matematika kecepatan cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame diselesaikan dengan metode elemen hingga kemudian dianalisis secara numerik dengan MATLAB, serta disimulasikan dengan FLUENT.

### 2.1 Model dan Pemodelan Matematika

Model matematika adalah representasi dari sistem nyata yang dijabarkan dalam bentuk simbol dan pernyataan matematika. Berdasarkan hal tersebut, model matematika merepresentasikan sebuah sistem dalam bentuk hubungan kuantitatif dan logika, berupa suatu persamaan matematika (Manonama dan Soetopo, 2008).

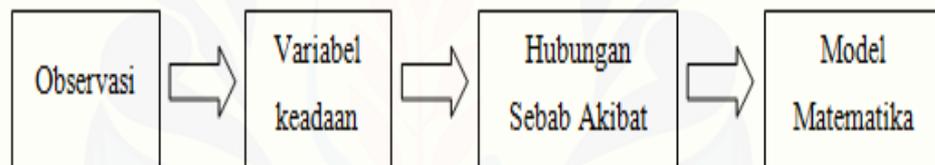
Pemodelan matematika merupakan usaha perancangan rumusan matematika yang menggambarkan bagaimana mendapatkan penyelesaian masalah matematika yang digeneralisasikan untuk diterapkan pada perilaku atau kejadian alam. Setelah melalui proses simulasi maka diperlukan sebuah eksperimen kembali sebagai langkah pencocokan mengenai apakah model tersebut valid atau perlu diadakan revisi. Masalah yang sering muncul biasanya adalah mengenai nilai awal dan atau masalah syarat batas (Iswanto, 2012: 15-16). Proses pemodelan dapat didefinisikan dalam hal-hal berikut :

- a. mengidentifikasi masalah yang diteliti;
- b. menentukan faktor-faktor yang penting;
- c. merepresentasikan faktor-faktor di atas dan saling mempengaruhi di antara faktor-faktor tersebut secara matematik dan menganalisis hubungan matematik;
- d. menginterpretasi hasil-hasil matematik dalam konteks fenomena dunia nyata;
- e. mengevaluasi bagaimana aplikasi hasil-hasil di atas dalam situasi dunia nyata;

- f. jika perlu, uji ulang faktor yang berpengaruh dan struktur model awal (Yusup, 2013).

Beberapa tahap dalam penyusunan pemodelan matematika adalah sebagai berikut :

- a. pengamatan fenomena sistem fisik yang akan dimodelkan;
- b. mengidentifikasi beberapa elemen yang menyusun sistem, termasuk variabel dependent maupun variabel independent;
- c. identifikasi banyak elemen yang menyusun sistem dan pengidentifikasian hubungan sebab akibat, sebagaimana pada persamaan konservasi yang berhubungan dengan kuantitas keadaan sistem;
- d. penurunan model matematika menggunakan variabel dependen, yaitu dengan mengeksplor hubungan antara sebab akibat yang dimiliki (Iswanto, 2012: 20).



Gambar 2.1 Tahap pemodelan matematika

Berdasarkan uraian di atas, pemodelan matematika merupakan suatu upaya dalam merancang rumusan matematika guna menyelesaikan permasalahan sehari-hari. Model matematika menyatakan permasalahan dalam bentuk persamaan matematika. Oleh karena itu, pemodelan matematika kecepatan aliran fluida pada hidrofluidisasi edamame merujuk pada permasalahan industri berdasarkan data-data yang diperoleh kemudian dimodelkan dalam suatu persamaan matematika.

## 2.2 Fluida

Fluida adalah zat yang dapat mengalir. Fluida menyesuaikan diri dengan bentuk wadah apapun dimana kita menemukannya karena tidak dapat menahan gaya yang bersinggungan dengan permukaannya (Halliday, 2005: 387). Fluida dapat dikatakan statis bila fluida tersebut dalam keadaan tidak bergerak atau diam

pada suatu wadah dan dapat dikatakan kinematis bila fluida tersebut bergerak secara terus-menerus (*continue*) akibat adanya suatu gaya gesek ataupun tekanan seberapapun kecilnya. Secara umum, bila dibedakan dari sudut kemampatannya *compresibility*, maka bentuk fluida terbagi dua jenis, yaitu *compressible fluid* dan *incompressible fluid*. *Compressible fluid* adalah fluida yang tingkat kerapatannya dapat berubah-ubah, contohnya zat berbentuk gas. Sedangkan *incompressible fluid* adalah fluida yang tingkat kerapatannya tidak berubah atau perubahannya kecil sekali dan dianggap tidak ada, contohnya zat berbentuk cair (Mulyadi, 2009).

Fluida terdiri dari dua jenis yaitu fluida Newtonian dan non-Newtonian. Fluida Newtonian memiliki hubungan linear antara besarnya tegangan geser yang diterapkan dan laju perubahan bentuk yang diakibatkan. Namun, apabila dalam fluida non-Newtonian hubungannya tak linear. Gas dan cairan encer cenderung bersifat fluida Newtonian sedangkan hidrokarbon berantai panjang yang kental mungkin bersifat non-Newtonian.

### 2.2.1 Jenis-Jenis Fluida

Berdasarkan bentuknya, fluida dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu :

a. Gas

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



Gambar 2.2 Fluida gas  
(sumber: [www.kompas.com](http://www.kompas.com))

b. Cair

Sama halnya seperti gas, zat cair merupakan suatu zat yang berge rak dan berubah bentuk sesuai dengan tempat yang ditempatinya. Zat cair cenderung mempertahankan volumenya karena memiliki gaya kohesif yang relatif kuat dibanding zat gas dan akan membentuk permukaan bebas. Berbeda dengan zat gas, zat cair tidak dapat dimampatkan. Salah satu contoh dari zat cair adalah air.

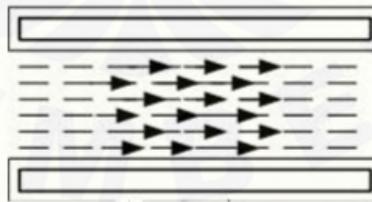


Gambar 2.3 Fluida cair  
(sumber: [www.kompas.com](http://www.kompas.com))

Kondisi aliran fluida sangat bergantung dari kecepatan aliran fluida, semakin tinggi kecepatan akan mempengaruhi pola aliran, kondisi aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen.

a. Aliran Laminar

Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Aliran laminar ini mempunyai nilai bilangan Reynolds kurang dari 2300 ( $Re < 2300$ ).

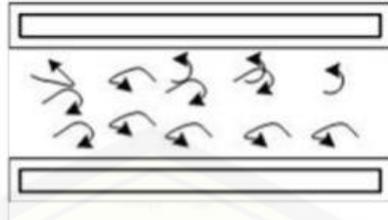


Gambar 2.4 Aliran laminar

b. Aliran Turbulen

Aliran turbulen didefinisikan sebagai aliran yang dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar

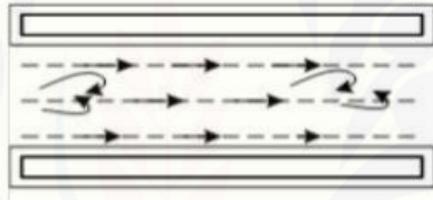
momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Aliran turbulen ini mempunyai nilai bilangan Reynolds lebih besar dari 4000 ( $Re > 4000$ ).



Gambar 2.5 Aliran turbulen

c. Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Keadaan peralihan ini tergantung pada viskositas fluida, kecepatan dan lain-lain yang menyangkut geometri. Aliran transisi ini mempunyai nilai bilangan Reynolds antara 2300 sampai dengan 4000 ( $2300 < Re < 4000$ ).



Gambar 2.6 Aliran transisi

Berdasarkan uraian di atas, fluida yang diteliti dalam penelitian ini berbentuk cair dan memiliki tipe aliran laminar. Aliran fluida yang diteliti memiliki pergerakan partikel dalam satu lapisan meluncur secara lancar.

### 2.3 *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) dapat diartikan suatu sistem analisis yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena terkait seperti reaksi kimia dengan cara simulasi berbasis komputer. CFD adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan 21 fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika atau model matematika (Tuakia, 2008: 2). Secara istilah CFD adalah suatu teknologi komputasi yang memungkinkan untuk mempelajari dinamika dari benda-benda atau zat-zat yang mengalir. Sebuah *software* CFD dapat mensimu-

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

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

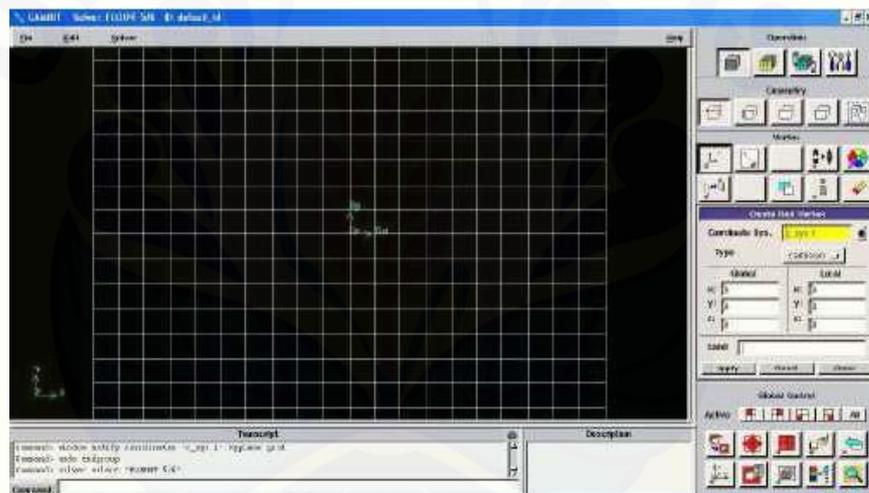
*Software solver* CFD menghitung kondisi-kondisi yang diterapkan pada saat *preprocessing*. Semua parameter yang telah dimasukkan dalam program *solver* akan diolah pada *software*. Proses perhitungan atau iterasi harus menentukan kriteria konvergensi yang akan dihitung. Konvergensi yang dimaksud adalah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

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

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

- metode beda hingga;
- metode volume hingga;
- metode elemen hingga;
- metode elemen batas;
- metode skema resolusi (Tuakia, 2008: 7).

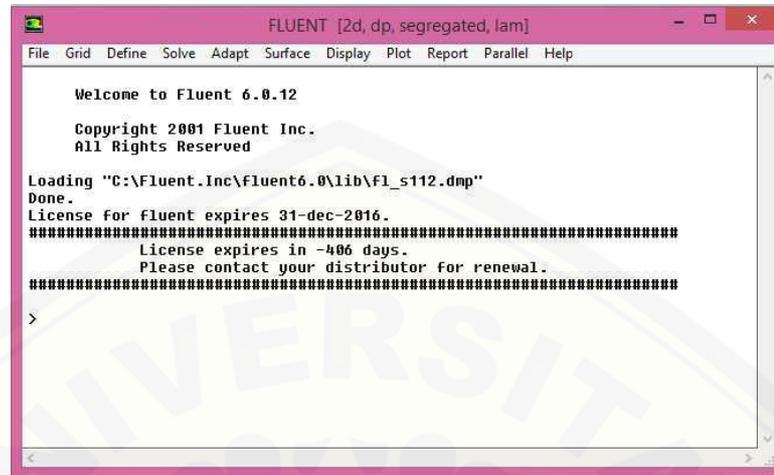
### 2.3.1 GAMBIT



Gambar 2.7 Tampilan *software* GAMBIT versi 6.0

GAMBIT merupakan singkatan dari *Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit*. GAMBIT merupakan salah satu *processor* yang didesain untuk membantu membuat model dan melakukan diskritisasi (*meshing*) pada model untuk analisis CFD, baik berupa *meshing* pada benda 2 dimensi maupun benda 3 dimensi. Penggunaan *Graphical User Interface* (GUI) saat penerimaan *input* memudahkan penggunaannya dalam pembuatan model dan proses *meshing*. GAMBIT dapat mengakomodasi berbagai macam aplikasi pemodelan dan mengimpor

dari berbagai format, seperti ACIS, STEP, *Parasolid*, IGES, dan lain-lain, sehingga membuat pemodelan yang dilakukan lebih fleksibel, dapat digabungkan dengan berbagai format *software* pemodelan lain.



Gambar 2.8 Tampilan *software* FLUENT versi 6.0

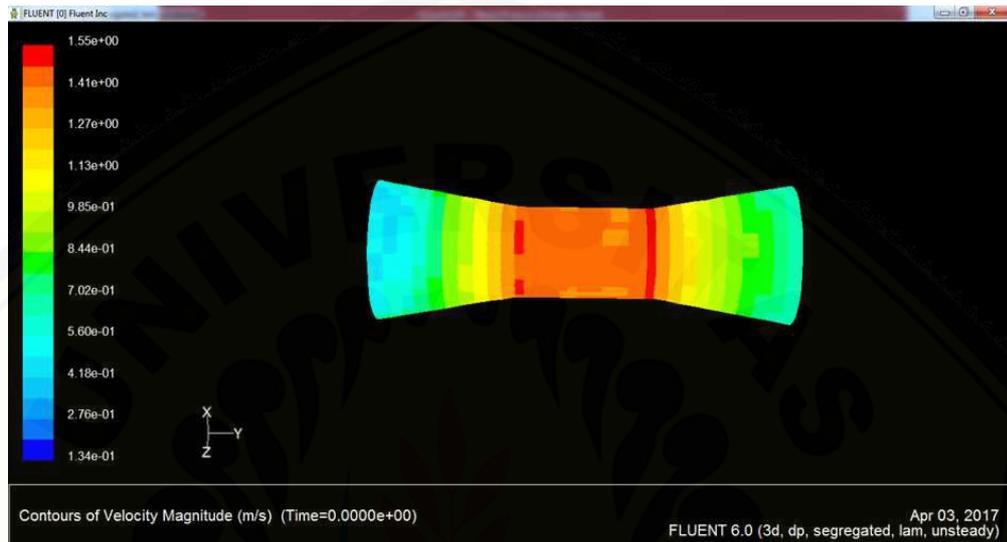
Langkah-langkah umum penyelesaian analisis CFD pada FLUENT setelah merencanakan analisis CFD adalah sebagai berikut :

- a. mengimpor *mesh* model yang telah dibuat dengan GAMBIT (*grid*);
- b. melakukan pemeriksaan (*check*) pada *mesh* model;
- c. memilih *solver*;
- d. memilih persamaan dasar yang akan dipakai dalam analisis, misalnya laminar, turbulen, reaksi kimia, perpindahan kalor, dan lain-lain;
- e. menentukan sifat material yang akan dipakai;
- f. menentukan kondisi batas;
- g. mengatur parameter kontrol solusi;
- h. *initialize the flow field*;
- i. melakukan perhitungan/iterasi;
- j. memeriksa hasil iterasi;
- k. menyimpan hasil iterasi.

Berdasarkan langkah-langkah di atas, FLUENT dapat menghasilkan hasil simulasi berupa gambaran yang mendekati kondisi sebenarnya. Indikator-indikator yang sesuai dengan data-data berupa suhu, kecepatan, serta tekanan yang ada

pada objek sebenarnya yang kita peroleh dari pengamatan dapat dimasukkan pada langkah-langkah tersebut (Tuakia, 2008: 138). GAMBIT versi 6.0 dan FLUENT versi 6.0 digunakan dalam penelitian ini untuk mensimulasikan model berupa gambaran yang mendekati kondisi sebenarnya.

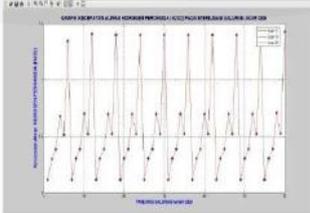
Contoh peristiwa dalam kehidupan sehari-hari yang dapat disimulasikan menggunakan FLUENT :

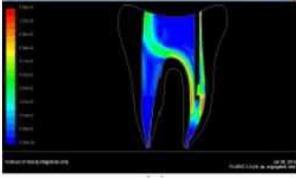
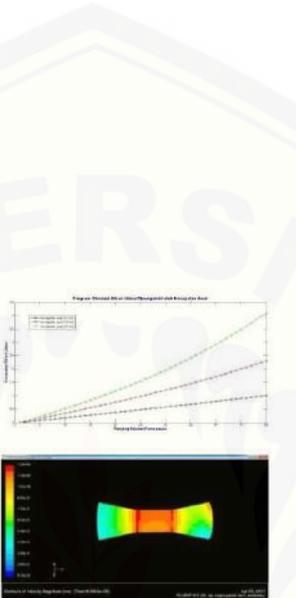
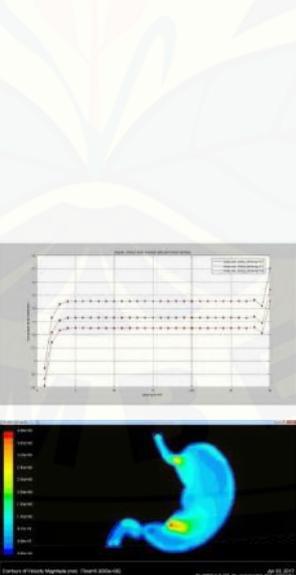


Gambar 2.9 Contoh FLUENT

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

Tabel 2.1: Hasil Penelitian Terdahulu

Model Matematika	Simulasi CFD $dim(G)$	Publikasi
$\phi_e(-\rho\Delta y\Delta t - \rho\Delta y\Delta t\cos\theta) +$ $\phi_w(\rho\Delta y\Delta t + \rho\Delta y\Delta t\cos\theta) +$ $\phi_s(\rho\Delta x\Delta t + \rho\Delta x\Delta t\sin\theta) +$ $\phi_n(-\rho\Delta x\Delta t - \rho\Delta x\Delta t\sin\theta) =$ $-\rho\Delta y\Delta t - \rho\Delta x\Delta t + \rho g\Delta y\Delta t +$ $\rho g\Delta x\Delta t + 2\mu\frac{u}{\Delta x}\Delta y\Delta t +$ $\mu\frac{v}{\Delta x}\Delta y\Delta t + \mu u\Delta t + \mu v\Delta t +$ $\mu\frac{v}{\Delta x}\Delta x\Delta t + 2\mu\frac{v}{\Delta y}\Delta x\Delta t$		<p>Hardiyanti, Dafik, dan Fatahillah. 2015. <i>Analisis Kecepatan Aliran Hidrogen Peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) Pada Sterilisasi Salursn Akar Gigi Menggunakan Metode Numerik Volume Hingga</i>. Kadikma, No.2, Vol.6, Hal 13-26</p>

Model Matematika	Simulasi CFD $dim(G)$	Publikasi
		
$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial \rho v \phi_y}{\partial y} = - \frac{\partial \rho}{\partial y} + \rho \frac{\partial g}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} (2\mu \frac{\partial \phi}{\partial y})$ <p>dimana:</p> $P = \frac{Q8\eta l}{\pi r^4}$		<p>Aisyah, Siti. 2017. Analisis Numerik Aliran Udara pada Penyempitan saluran Pernapasan Akibat Penyakit Gondok Menggunakan Metode Elemen Hingga Sebagai Monograf. Skripsi. Jember: Program Studi Pendidikan Matematika FKIP</p>
$\begin{aligned} &\phi_e (\rho^2 \Delta y \Delta t - \rho u \Delta y \Delta t) + \\ &\phi_w (-\rho^2 \Delta y \Delta t + \rho u \Delta y \Delta t) + \\ &\phi_n (\rho^2 \Delta x \Delta t - \rho v \Delta x \Delta t) + \\ &\phi_s (-\rho^2 \Delta x \Delta t - \rho v \Delta x \Delta t) = \\ &2\mu u \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + \mu v \frac{\Delta y \Delta t}{\Delta x} + \\ &2\mu v \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} + \mu u \frac{\Delta x \Delta t}{\Delta y} - P \Delta y \Delta t + \\ &pg \Delta y \Delta t - P \Delta x \Delta t + pg \Delta x \Delta t + \\ &\mu u \Delta t + \mu v \Delta t \end{aligned}$		<p>Hakim, Riska A. 2017. Analisis Numerik Aliran Fluida Dinamis pada pencernaan Lambung Menggunakan Metode Volume Hingga Sebagai Monograf. Skripsi. Jember: Program Studi Pendidikan Matematika FKIP</p>

## 2.4 Algoritma dan Pemrograman MATLAB

### 2.4.1 Algoritma

Kata algoritma, mungkin bukan sesuatu yang asing bagi kita. Penemunya adalah seorang ahli matematika dari Uzbekistan yang bernama Abu Abdullah Muhammad Ibn Musa al-Khawarizmi (770-840 M). Dia lebih terkenal dengan sebutan Algorizm dalam dunia literatur barat. Panggilan inilah yang kemudian dipakai untuk menyebut konsep *algorithm* yang ditemukannya. *Algorithm* atau dalam bahasa Indonesia kita sebut dengan algoritma adalah logika, metode dan tahapan (urutan) sistematis yang digunakan untuk memecahkan suatu permasalahan (Utami dan Sukrisno, 2005: 19-20). Algoritma merupakan suatu prosedur yang jelas untuk menyelesaikan suatu persoalan dengan menggunakan langkah-langkah tertentu. Beberapa ciri dari algoritma menurut Donald E. Knuth (dalam Suarga, 2012: 2) adalah sebagai berikut :

- a. algoritma mempunyai awal dan akhir, suatu algoritma memiliki langkah yang terbatas;
- b. setiap langkah harus didefinisikan dengan tepat sehingga tidak memiliki arti ganda dan tidak membingungkan (*not ambiguous*);
- c. memiliki masukan (*input*) sebagai kondisi awal;
- d. memiliki keluaran (*output*) sebagai kondisi akhir;
- e. algoritma harus efektif dan mampu menyelesaikan persoalan bila diikuti benar.

Berdasarkan uraian di atas, algoritma merupakan suatu prosedur sistematis tertentu yang digunakan dalam memecahkan suatu permasalahan. Setiap penyelesaian masalah yang dilakukan sesuai dengan langkah-langkah tertentu yang telah dirancang akan memperoleh suatu penyelesaian dengan tepat.

### 2.4.2 Pemrograman MATLAB

MATLAB (*Matrix Laboratory*) merupakan suatu perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan komputasi matematik, menganalisis data, mengembangkan algoritma, melakukan simulasi dan pemodelan, dan menghasilkan tampilan grafik dan antarmuka grafikal (Sianipar, 2013: 1-2). Program ini pada awalnya merupakan *interface* untuk koleksi rutin-rutin numerik proyek LINPACK dan

EISPACK. Namun sekarang, program ini merupakan produk komersial dari perusahaan *Mathwork, Inc.* yang dalam perkembangan selanjutnya dikembangkan menggunakan bahasa C++ dan *assembler* (terutama fungsi-fungsi dasar MATLAB). Selain itu, MATLAB merupakan bahasa pemrograman tingkat berbasis pada matriks sering digunakan untuk teknik komputasi numerik, menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matrik, optimasi, aproksimasi, dan lain-lain. MATLAB banyak digunakan pada:

- a. matematika dan komputasi;
- b. pengembangan algoritma;
- c. pemrograman *modeling*, simulasi, dan pembuatan *prototype*;
- d. analisa data, eksplorasi, dan visualisasi;
- e. analisis numerik dan statistik (Pusadan, 2014: 1).

Terdapat lima bagian utama dalam MATLAB, yaitu:

- a. Dekstop *Tools and Development Environment*

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

- b. *Mathematical Function Library*

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

- c. *The Language*

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

- d. *Graphics*

Pembuatan plot 2-dimensi, 3-dimensi, plot kontur, animasi, mengolah gambar dan mengolah video, dan lain sebagainya dapat dilakukan dengan kemampuan grafis MATLAB yang sangat baik.

e. *External Interface*

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

Beberapa menu tampilan yang dimiliki *software* MATLAB adalah sebagai berikut.

a. *Command Window*

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

b. *MATLAB Editor (M-File)*

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

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

c. *Figure Window*

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

d. *Help Window*

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

Berdasarkan uraian di atas, MATLAB merupakan sebuah *software* yang akan digunakan untuk melakukan komputasi matematik guna menyelesaikan permasalahan yang melibatkan operasi matematika dan mampu menghasilkan grafik. Grafik dari hasil simulasi menggunakan MATLAB versi R2014a tersebut akan dianalisis secara sistematis dan kemudian akan diperoleh sebuah kesimpulan dari permasalahan yang akan diteliti.

### 2.4.3 Metode Gauss Seidel

Metode iterasi Gauss-Seidel adalah metode yang menggunakan proses iterasi hingga diperoleh nilai-nilai yang berubah-ubah (Samosir, 2014: 56). Suatu sistem persamaan linier dapat dituliskan dengan bentuk  $AX = B$  dengan  $A$  merupakan matriks koefisien dari  $x$ ,  $X$  merupakan matriks variabel sistem persamaan, dan  $B$  merupakan matriks konstanta dari sistem persamaan. Sistem  $AX = B$  dan  $Q$  adalah matriks non-singular dapat dituliskan dalam bentuk:

$$AX = B \quad (2.1)$$

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

$$QX = (Q - A)X + B \quad (2.2)$$

selanjutnya dapat dituliskan dalam bentuk iterasi ke- $k$ :

$$QX^{(k)} = (Q - A)X^{(k-1)} + B, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.3)$$

Sebuah matriks  $A$  dapat dituliskan dalam bentuk  $A = L + D + U$ , dengan  $L$  adalah matriks segitiga bawah,  $D$  adalah matriks diagonal, dan  $U$  adalah matriks segitiga atas.  $Q = D + L$  dipilih pada iterasi Gauss-Seidel, tetapi pada iterasi

SOR dipilih  $Q = \frac{1}{\omega}D + L$  dengan  $\omega$  adalah faktor skala. Sehingga Persamaan

$$\begin{aligned}
 QX^{(k)} &= (Q - A)X^{(k-1)} + B \\
 \left(\frac{1}{\omega}D + L\right) X^{(k)} &= \left(\frac{1}{\omega}D + L - A\right) X^{(k-1)} + B \\
 \frac{1}{\omega}DX^{(k)} &= -LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1\right) D + D + L - A\right) X^{(k-1)} + B \\
 \frac{1}{\omega}DX^{(k)} &= -LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1\right) D - U\right) X^{(k-1)} + B \\
 \omega D^{-1} \left(\frac{1}{\omega}DX^{(k)}\right) &= \omega D^{-1} \left[ -LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1\right) D - U\right) X^{(k-1)} + B \right] \\
 X^{(k)} &= \omega D^{-1} \left[ -LX^{(k)} + \left(\frac{1}{\omega}D - D - U\right) X^{(k-1)} + B \right] \\
 X^{(k)} &= -\omega D^{-1}LX^{(k)} + (1 - \omega - \omega D^{-1}U) X^{(k-1)} + \omega D^{-1}B \\
 X^{(k)} &= (1 - \omega)X^{(k-1)} - \omega D^{-1}LX^{(k)} - \omega D^{-1}UX^{(k-1)} + \omega D^{-1}B \\
 X^{(k)} &= (1 - \omega)X^{(k-1)} - \omega D^{-1} (LX^{(k)} + UX^{(k-1)} - B) \quad (2.4)
 \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned}
 a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\
 a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\
 a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + \dots + a_{3n}x_n &= b_3 \\
 &\vdots \\
 a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + a_{n3}x_3 + \dots + a_{nn}x_n &= b_n
 \end{aligned} \quad (2.5)$$

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

$$\begin{aligned}
 x_1 &= \frac{1}{a_{11}}(b_1 - a_{12}x_2 - a_{13}x_3 - \dots - a_{1n}x_n) \\
 x_2 &= \frac{1}{a_{22}}(b_2 - a_{21}x_1 - a_{23}x_3 - \dots - a_{2n}x_n)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_3 &= \frac{1}{a_{33}}(b_3 - a_{31}x_1 - a_{32}x_2 - \cdots - a_{3n}x_n) \\
 &\vdots \\
 x_n &= \frac{1}{a_{nn}}(b_n - a_{n1}x_1 - a_{n2}x_2 - \cdots - a_{nn-1}x_{n-1})
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

Nilai  $x_1$  yang telah diperoleh pada iterasi Gauss-Seidel kemudian dimasukkan ke dalam  $x_2$  yang akan dicari, karena nilai  $x_1$  yang diperoleh lebih dekat dengan nilai eksak. Selanjutnya untuk mencari nilai  $x_3$  maka tinggal memasukkan nilai  $x_1$  dan  $x_2$  yang telah diperoleh dan seterusnya sampai diperoleh akar dari sistem persamaan tersebut. Berikut contoh langkah-langkah penyelesaiannya:

1. iterasi ke-1

$$\begin{aligned}
 x_1^1 &= \frac{1}{a_{11}}(b_1 - a_{12}x_2^0 - a_{13}x_3^0 - \cdots - a_{1n}x_n^0) \\
 x_2^1 &= \frac{1}{a_{22}}(b_2 - a_{21}x_1^1 - a_{23}x_3^0 - \cdots - a_{2n}x_n^0) \\
 x_3^1 &= \frac{1}{a_{33}}(b_3 - a_{31}x_1^1 - a_{32}x_2^1 - \cdots - a_{3n}x_n^0) \\
 &\vdots \\
 x_n^1 &= \frac{1}{a_{nn}}(b_n - a_{n1}x_1^1 - a_{n2}x_2^1 - \cdots - a_{nn-1}x_{n-1}^1)
 \end{aligned} \tag{2.7}$$

2. iterasi ke-2

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

3. dan seterusnya sampai langkah  $k$ .

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

$$x_i^k = \frac{1}{a_{ii}} \left( b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij}x_j^k - \sum_{j=i+1}^n a_{ij}x_j^{k-1} \right) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \tag{2.9}$$

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

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

(Anton, 1987: 359).

Berdasarkan Persamaan (2.9) dan Persamaan (2.10), untuk  $\omega = 1$  akan diperoleh metode Gauss-Seidel. Metode Gauss-Seidel inilah yang digunakan untuk menyelesaikan sistem persamaan linier yang muncul dalam penyelesaian numerik dari persamaan diferensial parsial tertentu.

#### 2.4.4 Galat (*Error*)

Salah satu aspek penting yang harus diperhatikan dalam perhitungan komputasi numerik adalah keakuratan hasil yang diperoleh. Hal ini dikarenakan penyelesaian yang diperoleh melalui komputasi numerik masih memuat beberapa galat. Galat atau biasa disebut *error* dalam metode numerik adalah selisih antara nilai eksak (nilai sejati) dengan nilai yang dihasilkan dengan metode numerik yang disebut dengan nilai hampiran (nilai aproksimasi). Hasil yang diperoleh dari perhitungan numerik bukanlah hasil yang sama persis dengan nilai sejatinya. Nilai aproksimasi akan selalu memiliki selisih dengan nilai eksak, karena nilai aproksimasi merupakan hasil yang diperoleh dengan proses iterasi (*looping*) untuk menghampiri nilai sebenarnya. Adanya galat bukan berarti nilai hampiran yang diperoleh dengan metode numerik salah, karena galat tersebut dapat ditekan sekecil mungkin sehingga hasil yang didapat sangat mendekati nilai sebenarnya. Galat (*error*) disimbolkan dengan  $E$ , jawaban sebenarnya disimbolkan dengan  $X_T$ , dan jawaban pendekatan atau jawaban yang diperoleh dari proses iterasi disimbolkan dengan  $X_A$ , maka galat dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Error(E) = X_T - X_A$$

Menurut Lukanto (2011: 6) galat dapat digolongkan dalam dua jenis yaitu:

a. Galat Mutlak

Kesalahan mutlak dari suatu angka, pengukuran, atau perhitungan adalah perbedaan numerik nilai sesungguhnya terhadap nilai pendekatan

yang diperoleh dari hasil iterasi atau perhitungan. Jika  $a'$  adalah nilai pendekatan dari nilai eksak  $a$ . maka galat mutlak dari  $a$  adalah:

$$E_a = a - a' = \delta a$$

- b. Galat Relatif ( $E_R$ )

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

$E_R$  atau  $\delta a$  didefinisikan sebagai galat relatif, kemudian persentase galat dihitung dari galat relatif yang diberikan dalam bentuk :

$$P_R = 100E_R$$

Selain itu terdapat tiga sumber utama penyebab galat dalam perhitungan numerik:

- a. Galat percobaan (galat bawaan/melekat) dapat terjadi karena kekeliruan dalam memberikan data atau kesalahan dalam asumsi terhadap data.
- b. Galat pemotongan (pemotongan barisan langkah komputasi) merupakan penentuan nilai sebagai angka pecahan yang dinormalisir. Penurunan rumus dalam metode numerik menggunakan proses iterasi yang jumlahnya tak terhingga, sehingga jumlah iterasi dibatasi sampai langkah ke- $n$  dalam proses penghitungannya. Hasil hampiran diperoleh dari hasil penghitungan sampai langkah ke- $n$ , sedangkan nilai penghitungan langkah  $n$  keatas merupakan galat pemotongan. Galat pemotongan akan menjadi semakin kecil jika nilai  $n$  diperbesar, namun jumlah proses penghitungannya akan semakin banyak.
- c. Galat pembulatan merupakan penentuan jumlah angka di belakang koma. Hampir semua proses penghitungan dalam metode numerik menggunakan bilangan real. Adanya galat pembulatan dikarenakan penyajian bilangan real yang panjangnya tak terhingga tidak bisa disajikan secara tepat (Pujjyanta, 2007: 16 - 18).

Berdasarkan uraian di atas, keakuratan hasil yang diperoleh dalam perhitungan komputasi numerik harus diperhatikan karena hasil yang diperoleh masih memuat beberapa galat. Galat dari proses iterasi semakin kecil menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh semakin mendekati nilai sebenarnya. Adapun batasan galat yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,01.

## 2.5 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis suatu gejala phisis (Susatio, 2004). Sedangkan menurut Fatahillah (2011: 110), metode elemen hingga adalah salah satu metode pendekatan numerik yang mendasarkan permasalahan pada tiap-tiap elemen bagian yang dinamakan elemen hingga. Berdasarkan pengertian tersebut, metode elemen hingga adalah suatu metode pendekatan numerik yang digunakan untuk memecahkan permasalahan mekanika kontinum yang didasarkan pada tiap-tiap elemen bagian yang disebut elemen hingga.

Konsep dasar yang melandasi metode elemen hingga yaitu prinsip diskritisasi yang sebenarnya telah banyak digunakan dalam usaha manusia. Mungkin kebutuhan terhadap pendiskritan, atau membagi suatu benda menjadi benda-benda yang berukuran lebih kecil supaya lebih mudah pengelolaannya, timbul dari keterbatasan manusia yang mendasar, yaitu mereka tidak dapat melihat atau memahami benda sekelilingnya dialam semesta dalam bentuk keseluruhan atau totalitas. Berdasarkan hal tersebut, kita mendiskritkan ruang di sekitar kita kedalam segmen-segmen kecil, dan hasil rakitan akhir yang divisualisasikan adalah tiruan dari lingkungan kontinu yang nyata (Dolu, 2010).

Persamaan dalam Metode Elemen Hingga biasanya berbentuk :

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

dimana :

$[A]$  = Matrik kekakuan

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

$F$  = Gaya yang bekerja pada nodal

Adapun langkah-langkah dalam memakai metode elemen hingga untuk analisa gerakan pada *continuous system* yaitu:

- a. *Discretization* daripada domain
  - 1) 1-D contoh pada sumbu x saja, atau mungkin juga pada sumbu x dan y saja
  - 2) 2-D contoh pada sumbu x dan y, atau biasa dikenal dengan r dan  $\theta$
  - 3) 3-D contoh pada sumbu x, y, z atau biasa dikenal dengan r,  $\theta$  dan z
- b. Pilih *polynomial function* dalam mencari *shape function*

c. Penjabaran *element equation* (Mulyadi, 2015).

### 2.5.1 Pendekatan Kuadratik

Setiap permasalahan yang ada akan diselesaikan dengan pendekatan kuadratik. Fungsi pada pendekatan kuadratik tersebut adalah:

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

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

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

jadi

$$\alpha_1 = C_i$$

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

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

sehingga

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

dapat ditulis

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

dengan

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

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

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

Berdasarkan uraian di atas, metode elemen hingga digunakan untuk menyelesaikan permasalahan mekanika kontinum yang didasarkan pada tiap-tiap elemen bagian yang disebut elemen hingga. Metode elemen hingga digunakan dalam penelitian ini untuk menyelesaikan permasalahan matematis dengan metode pendekatan kuadratik.

### 2.5.2 Persamaan Momentum

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

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + [pure\ rate] = \Sigma F \quad (2.11)$$

$\Sigma F$  adalah jumlah dari seluruh gaya-gaya yang bekerja didalam sistem, dimana pada penelitian ini gaya-gaya yang bekerja adalah gaya gravitasi, kekentalan zat, dan massa jenis zat.

## 2.6 Edamame



Gambar 2.10 Edamame

Edamame merupakan jenis kedelai hijau yang dapat dikonsumsi. Edamame dipanen dan dikonsumsi sebelum matang sepenuhnya (Coolong, 2009). Edamame dipanen saat polongnya masih muda dan berwarna hijau (saat pengisian biji 80-90% pengisian) (Asadi, 2009). Edamame dengan berbagai kandungan gizi di dalamnya memiliki banyak manfaat bagi tubuh.

Edamame sering disebut dengan kedelai sayur (*vegetable soybean*) memiliki banyak manfaat bagi kesehatan. Selain mudah ditanam dan dipanen, edamame juga menyehatkan karena tidak mengandung kolesterol dan lemak jenuh (Sciarappa, 2004). Kandungan isoflavon pada edamame berperan sebagai zat anti kanker, mencegah penyakit jantung, menurunkan tekanan darah, dan mengurangi gangguan pada saat menopause. Edamame juga mengandung zat antioksidan yang dapat memperkuat sistem imun tubuh dan mengurangi risiko kanker (Coolong, 2009). Adapun kandungan gizi edamame Jepang yang diuji menurut

*Soyfood Association of North America* pada tahun 2005 (dalam Johnson et al., 1999) akan disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Nutrisi edamame

Nutrisi	Kadar
Energi (kkal/100g)	582,0
Air (g/100g)	71,1
Protein (g/100g)	11,4
Karbohidrat (g/100g)	6,6
Lipid (g/100g)	7,4
Kalsium (mg/100g)	1,9
Serat (g/100g)	15,6
Serat Pangan (g/100g)	1,6
Zat Besi (mg/100g)	70,0
Abu (g/100g)	140,0
Natrium (mg/100g)	1,7
Kalium (mg/100g)	1,0
Karoten (mg/100g)	140,0
Niasin (mg/100g)	100,0
Asam Askorbat (mg/100g)	0,27
Vitamin B1 (mg/100g)	0,14
Vitamin B2 (mg/100g)	1,0
Fosfor (mg/100g)	27,0

Edamame merupakan salah satu produk unggulan Kabupaten Jember. Edamame yang dihasilkan Kabupaten Jember memiliki berbagai keunggulan meliputi produktivitas yang tinggi dan waktu tanam yang cukup pendek, serta kandungan protein tinggi dan lengkap sehingga edamame mampu menembus pasar internasional. Pengembangan edamame di Kabupaten Jember dilakukan PT Mitratani Dua Tujuh sebagai sebuah perusahaan produk pertanian yang memiliki banyak jaringan ekspor di Asia dan Eropa.

Berdasarkan uraian di atas, kandungan gizi edamame yang beragam dan memiliki banyak manfaat bagi kesehatan menjadi daya tarik tersendiri untuk diteliti guna meningkatkan pengetahuan khususnya di bidang pengolahan pascapanen edamame. Selain itu, kedelai merupakan salah satu dari tujuh riset unggulan Universitas Jember. Edamame yang akan diteliti adalah edamame yang masih terbungkus oleh kulitnya dengan 3 biji. Ukuran setiap biji kurang lebih 1 cm sesuai dengan standar kualitas luar negeri sebagai komoditi ekspor.

## 2.7 Hidrofluidisasi

Hidrofluidisasi merupakan metode pembekuan yang relatif baru. Hidrofluidisasi pada dasarnya menggunakan sistem sirkulasi dengan memompa cairan pendingin ke atas melalui lubang atau nozel ke dalam bejana pendingin, sehingga menimbulkan pergerakan jet cairan pendingin dan meningkatkan perpindahan panas ke makanan selama pembekuan (Verboven et al., 2003). Beberapa manfaat yang terkait dengan hidrofluidisasi adalah tingkat perpindahan panas yang tinggi dengan ukuran gradien suhu yang kecil, struktur kristal es yang halus dalam makanan, peralatan yang berukuran kecil, pengoperasiannya relatif mudah, dan prosesnya ramah lingkungan (Fikiin, 2008). Hidrofluidisasi terjadi pada tangki eksperimen berupa sebuah bejana dan terdapat lubang pelat. Cairan pendingin yang dipompa melalui lubang pelat menuju ke dalam bejana membutuhkan kecepatan aliran fluida yang tepat. Sedangkan kecepatan cairan pendingin di dalam bejana dipengaruhi oleh ukuran diameter lubang pelat bejana.

Adapun tangki eksperimen yang digunakan sebagai tempat pembekuan adalah sebagai berikut.



Gambar 2.11 Tangki eksperimen

Berdasarkan uraian di atas, hidrofluidisasi dipilih karena teknik pembekuan tersebut memiliki banyak manfaat. Hidrofluidisasi akan diterapkan sebagai teknik pembekuan edamame untuk mengetahui pengaruh kecepatan awal cairan pendingin dan ukuran diameter lubang pelat bejana terhadap kecepatan cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame.

## 2.8 Penelitian yang Relevan

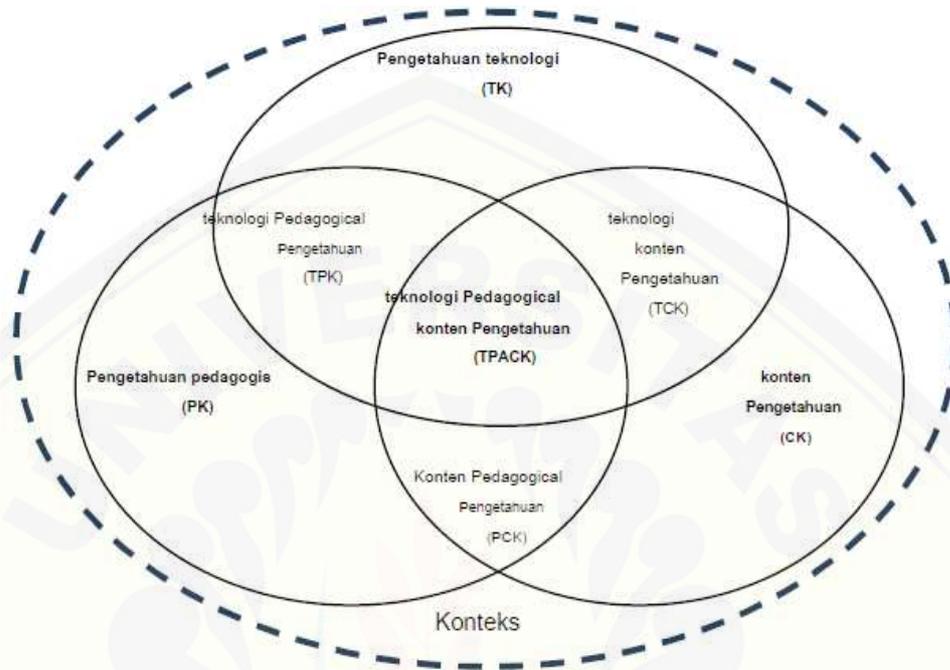
Adapun beberapa penelitian yang relevan sebagai acuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1) Penelitian yang dilakukan oleh Orona, Susana, dan Juan (2017) dengan judul "*Computational Fluid Dynamics Combined With Discrete Element Method And Discrete Phase Model For Studying A Food Hydrofluidization System*". Penelitian ini mendeskripsikan mengenai perpindahan panas pada sistem hidrofluidisasi kentang dengan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dan *Discrete Element Method* (DEM). Berdasarkan hasil penelitian tersebut diketahui bahwa CFD dan DEM dapat menjadi alat yang ampuh untuk mensimulasikan sistem pengolahan makanan. Sejumlah partikel makanan kecil atau besar bergerak dalam domain fluida. Perpindahan panas dalam sampel makanan dipelajari melalui suhu di pusat geometri kentang diketahui bahwa semakin besar waktu dalam proses hidrofluidisasi maka suhu pada pusat geometri kentang semakin rendah.
- 2) Penelitian yang dilakukan oleh Liang dan Li (2007) dengan judul "*Simulation of Heat Transfer in Hollow-Glass-Bead-Filled Polypropylene Composites by Finite Element Method*". Penelitian ini mendeskripsikan tentang proses perpindahan panas umumnya melibatkan tiga cara: (1) konduksi termal melalui padatan dan gas, (2) radiasi termal antara permukaan bola mikro berongga, dan (3) konveksi alami gas di lingkungan mikro berongga. Perpindahan panas dilakukan terutama dengan cara konduksi termal melalui padatan dan gas. Kuantitas panas dibagi menjadi dua bagian ketika arus panas menemukan manik yaitu bagian yang lebih kecil dari jumlah panas mengalir ke bola, sisanya mengalir di sepanjang dinding bola. Berdasarkan hasil penelitian tersebut diketahui bahwa perubahan suhu lebih cepat di dalam bola daripada di luar bola.

Berdasarkan uraian di atas, dalam penelitian ini akan dibahas mengenai kecepatan aliran fluida pada hidrofluidisasi edamame. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh kecepatan awal cairan pendingin dan ukuran diameter lubang pelat bejana terhadap kecepatan cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame. Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga dengan pendekatan kuadratik dalam penyelesaian model matematika. Proses simulasi

dan analisis model matematika tersebut menggunakan *software* MATLAB dan FLUENT.

## 2.9 *Technological Content Knowledge (TCK)*



Gambar 2.12 Bagian-bagian TPACK

*Technological Content Knowledge (TCK)* adalah bagian dari kerangka *Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK)*. Gagasan TPACK secara resmi muncul dalam literatur dan jurnal pada tahun 2003. TPACK merupakan sebuah bentuk integrasi antara teknologi pendidikan dengan pembelajaran di dalam kelas guna membantu pendidik agar lebih mudah dalam memberikan pemahaman kepada peserta didik mengenai materi yang akan disampaikan. Teknologi pendidikan juga membantu peserta didik dalam proses pembelajaran serta dapat lebih memudahkan dalam mencari literatur tentang materi yang disampaikan di dalam kelas. Selain itu peserta didik juga lebih mudah dalam menyelesaikan permasalahan atau soal-soal yang diberikan oleh pendidik dalam proses pembelajaran. TPACK pada dasarnya merupakan sebuah kerangka kerja yang kuat dan memiliki banyak potensi yang dapat digunakan dalam penelitian dan pengembangan *ICT* dalam pendidikan. Diagram di bawah ini menggambarkan

tentang hubungan antara bagian-bagian yang terdapat dalam TPACK.

Bagian-bagian inti dari TPACK yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah tentang pengetahuan konten (materi), pengetahuan teknologi, dan pengetahuan materi berbantuan teknologi. Bagian-bagian inti TPACK tersebut adalah sebagai berikut.

1. *Content Knowledge* (CK) yaitu pengetahuan tentang materi pelajaran. Contohnya pengetahuan tentang materi matematika. Indikator CK yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pengetahuan cukup tentang kecepatan aliran cairan pendingin, penentuan variabel yang akan diteliti, pengembangan model matematika, penyelesaian model matematika, dan analisis hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.
2. *Technological Knowledge* (TK) yaitu pengetahuan tentang cara menggunakan perangkat keras TIK, perangkat lunak, dan perangkat terkait. Indikator TK yang digunakan dalam penelitian ini yaitu penulisan bahasa pemrograman pada MATLAB, pembuatan desain geometri objek pada GAMBIT, penentuan tipe batas tertentu (*wall, inlet, outlet*) pada desain geometri objek, penentuan kondisi batas pada setiap variabel keadaan sebagai input data pada FLUENT dan melakukan hasil simulasi kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame dengan menggunakan FLUENT (Chai, 2003).

## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Jenis Penelitian

Penelitian sangat penting bagi perkembangan ilmu pengetahuan. Berdasarkan jenisnya, penelitian ini merupakan jenis penelitian simulasi. Penelitian simulasi merupakan sebuah replikasi atau visualisasi dari perilaku sebuah sistem. Secara umum simulasi 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 akan menentukan bagaimana ciri-ciri utama itu bisa dimodifikasi secara nyata (Syae-fudin: 2005). Penelitian mengenai kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame ini memodelkan aliran tersebut menggunakan metode elemen hingga sehingga didapat hasil atau data-data yang mendekati keadaan sebenarnya.

### 3.2 Tempat Penelitian

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

### 3.3 Definisi Operasional

Peneliti mendefinisikan beberapa istilah yang perlu dipahami untuk menghindari salah penafsiran, beberapa istilah tersebut adalah sebagai berikut.

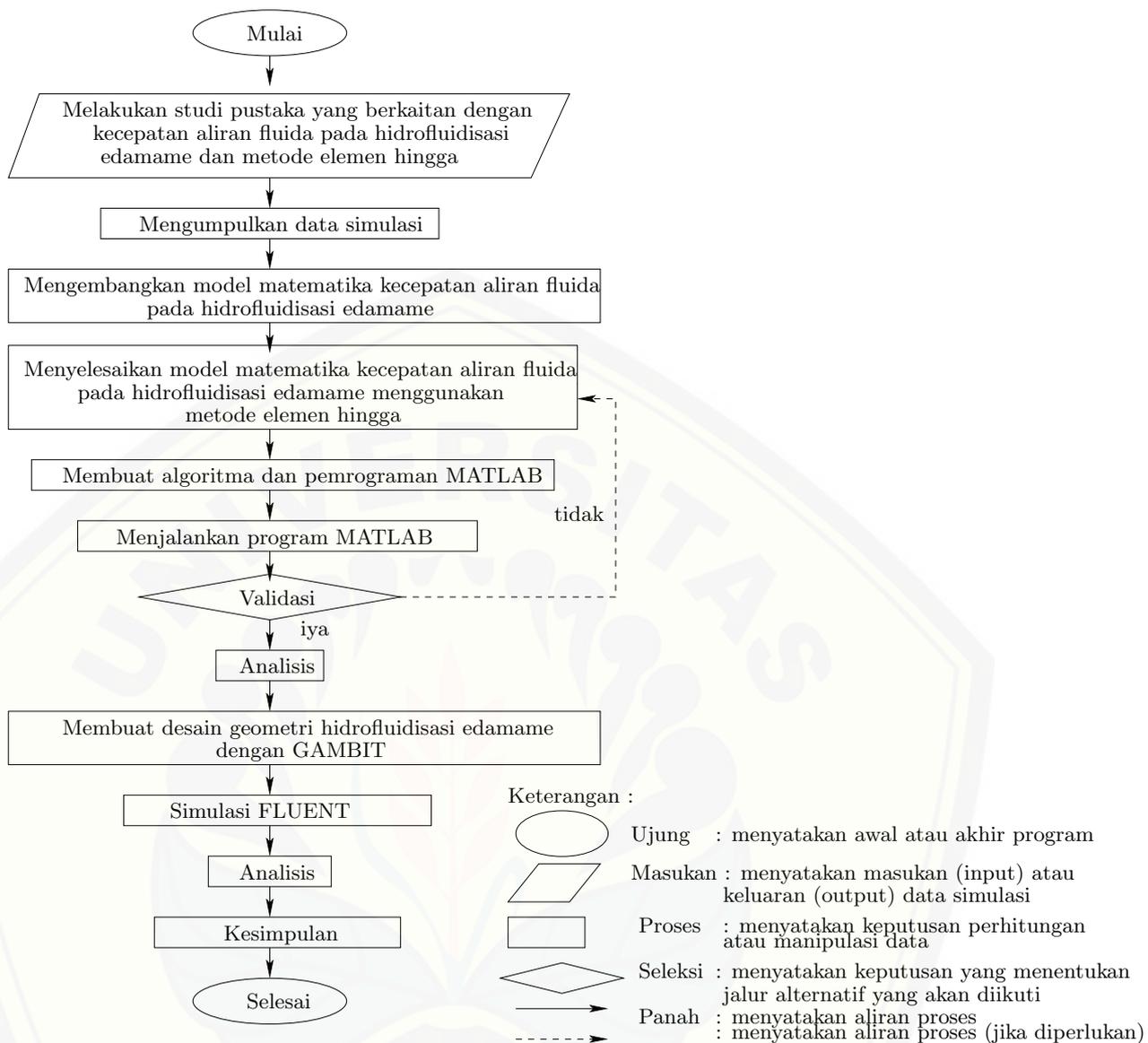
- a. Model matematika adalah sekumpulan fungsi berupa simbol dan pernyataan matematika yang merepresentasikan suatu fenomena nyata.
- b. Metode elemen hingga adalah salah satu metode numerik yang digunakan dalam pemodelan matematika yang sesuai dengan penerapan aliran fluida.

- c. Hidrofluidisasi merupakan salah satu teknik pembekuan menggunakan sistem sirkulasi dengan memompa cairan pendingin ke atas melalui lubang pelat ke dalam bejana pendingin.
- d. *Technological Content Knowledge* (TCK) merupakan pengetahuan tentang materi tertentu terintegrasi teknologi tepat guna.

### 3.4 Prosedur Penelitian

Suatu penelitian memerlukan prosedur penelitian sebagai acuan dasar langkah-langkah berupa serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk memperoleh data-data yang akan dianalisis sampai menghasilkan suatu kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian. Adapun prosedur penelitian ini yaitu:

- a. melakukan studi pustaka yang berkaitan dengan kecepatan aliran fluida pada hidrofluidisasi edamame dan metode elemen hingga;
- b. mengumpulkan data, dalam penelitian ini menggunakan data simulasi;
- c. mengembangkan model matematika kecepatan aliran fluida pada hidrofluidisasi edamame yang dipengaruhi oleh diameter lubang pelat dan kecepatan awal aliran guna mengasah kemampuan *Content Knowledge* (CK);
- d. menyelesaikan model matematika menggunakan metode elemen hingga dengan pendekatan kuadratik guna mengasah kemampuan *Content Knowledge* (CK);
- e. membuat algoritma dan pemrograman MATLAB guna mengasah kemampuan *Technological Knowledge* (TK);
- f. menganalisis algoritma dan keadaan aliran fluida pada sistem hidrofluidisasi edamame;
- g. membuat desain geometri dan menentukan kondisi batas aliran fluida pada hidrofluidisasi edamame dengan menggunakan GAMBIT guna mengasah kemampuan *Technological Content Knowledge* (TCK);
- h. simulasi menggunakan FLUENT guna mengasah kemampuan *Technological Knowledge* (TK);
- i. menganalisis hasil dari penyimulasian model dengan FLUENT guna mengasah kemampuan *Technological Content Knowledge* (TCK);
- j. memberikan kesimpulan dan hasil.



Gambar 3.1 Diagram alir prosedur penelitian

Berdasarkan diagram alir di atas, setiap langkah penelitian tersebut bertujuan untuk mengasah kemampuan *Technological Content Knowledge* (TCK).

### 3.5 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ilmiah adalah prosedur yang sistematis untuk memperoleh data yang diperlukan (Satori dan Komariah, 2013: 103). Kegiatan mengumpulkan data bertujuan untuk memperoleh data atau informasi

yang dibutuhkan dalam mencapai tujuan penelitian. Metode pengumpulan data dalam penelitian ini adalah metode dokumentasi. Metode dokumentasi adalah metode pengumpulan data melalui peninggalan tertulis, seperti arsip-arsip dan buku-buku tentang pendapat, teori, dalil atau hukum-hukum, dan lain-lain yang berhubungan dengan masalah penelitian. Metode dokumentasi berfungsi untuk menghimpun bahan-bahan yang dipergunakan di dalam kerangka atau landasan teori secara kolektif dan dalam penyusunan hipotesis secara tajam (Sugiyono, 2014: 181). Data penelitian yang dikumpulkan berupa fakta-fakta mengenai objek yang diteliti.

Penelitian ini menggunakan metode dokumentasi dalam pengumpulan data. Menurut Arikunto (1992) menjelaskan bahwa metode dokumentasi yaitu metode pengumpulan data yang berupa hal-hal atau variabel yang terdiri dari catatan, transkrip, buku, surat kabar, majalah, prasasti, notulen rapat, agenda dan sebagainya. Data yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi suhu pembekuan edamame, kecepatan cairan pendingin dan diameter lubang pelat pada hidrofluidisasi makanan dengan mempelajari jurnal ilmiah dan data-data dari internet.

### **3.6 Analisis Data**

Data memberikan gambaran tentang suatu keadaan atau persoalan. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data simulasi. Analisa data merupakan proses akhir yang sangat penting dalam suatu penelitian. Analisis data diperlukan guna menyusun data sehingga dapat dimengerti dengan mudah. Data yang telah dikumpulkan kemudian dikelompokkan secara sistematis dan dianalisa secara logis berdasarkan rancangan penelitian yang telah disusun. Hasil analisis data tersebut kemudian digunakan sebagai acuan dalam penarikan kesimpulan dari hasil suatu penelitian yang telah dilakukan.

Model matematika kecepatan aliran fluida pada hidrofluidisasi edamame diselesaikan dengan metode elemen hingga, kemudian didiskritisasi menjadi beberapa elemen yang lebih sederhana. Penggunaan metode diskritisasi tersebut bertujuan untuk mendapatkan penyelesaian numerik yang konvergen dari matriks yang menyatakan persamaan yang akan diselesaikan secara numerik dengan menggunakan MATLAB. Penyelesaian tersebut mendekati penyelesaian eksak dari persamaan diferensialnya.

Hasil yang diperoleh dari perhitungan dikatakan benar apabila terdapat *error* yang kecil antara perhitungan MATLAB dengan nilai sebenarnya. Akan tetapi, apabila hasil dari perhitungan MATLAB dengan sebenarnya terdapat perbedaan yang signifikan, maka akan dicari kesalahan saat memodelkan dan pengecekan ulang proses penurunan rumus dan juga penyelesaian dengan MATLAB hingga diperoleh hasil yang benar. Batasan untuk *error* adalah 0,01. *Error* 0,01 telah mampu menggambarkan akurasi yang baik karena kesalahan tersebut hanya 1% sehingga menandakan kesalahan tersebut cukup kecil. Keakuratan model matematika kecepatan aliran fluida pada hidrofuidisasi edamame dapat ditentukan dengan menggunakan *error* relatif yang terdapat pada metode Gauss-Seidel setelah melakukan simulasi model matematika kecepatan aliran fluida pada hidrofuidisasi edamame. Model matematika yang dibentuk pada GAMBIT adalah hidrofuidisasi edamame, kemudian model matematika tersebut akan disimulasikan dengan FLUENT. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, model matematika kecepatan aliran fluida pada hidrofuidisasi edamame yang disajikan dalam *output* kontur gambar secara dua dimensi akan dapat dilihat secara jelas.

### 3.7 Instrumen Validasi

Instrumen validasi digunakan untuk memperoleh tingkat kevalidan instrumen berupa lembar validasi TCK. Validasi yang digunakan adalah validasi sesama teman atau lebih dikenal dengan istilah *peer validation*. Instrumen validasi tersebut digunakan untuk mengasah kemampuan TCK meliputi aspek *Content Knowledge* (CK) dan *Technological Knowledge* (TK) yang divalidasi oleh 5 validator.

### 3.8 Metode Analisis Validasi

Adapun langkah-langkah metode analisis validasi menggunakan *peer validation* untuk menentukan tingkat kevalidan instrumen dijelaskan sebagai berikut.

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

$$A_{ai} = \frac{\sum_{a=1}^n I_{ai}}{m}$$

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

Keterangan :

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

$A_{ai}$  : rata-rata nilai aspek ke- $i$

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

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

$j$  : validator ke-

$i$  : indikator ke-

$v$  : banyak validator

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

$a$  : aspek ke-

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

$n$  : banyak aspek

Langkah terakhir adalah menentukan tingkat kevalidan instrumen sesuai tabel 3.1.

**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

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Model matematika aliran fluida pada hidrofuidisasi edamame merupakan persamaan yang dinyatakan pada persamaan momentum sebagai berikut.

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + \frac{\partial \rho v \phi_y}{\partial y} = F_D v + \rho + \rho \frac{\partial g}{\partial y} + F_{DEM}$$

dimana,

$$F_D = \frac{18\mu}{\rho_p D^2} \frac{C_D Re_D}{24}$$

$$F_{DEM} = (K\delta + \gamma ve)e$$

2. Kecepatan awal yang diberikan mempengaruhi besarnya kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame. Semakin besar kecepatan awal yang diberikan, maka kenaikan kecepatan cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame semakin besar.
3. Ukuran diameter lubang pelat bejana juga mempengaruhi besarnya peningkatan kecepatan aliran cairan pendingin. Semakin besar ukuran lubang pelat bejana, maka kenaikan kecepatan cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame semakin kecil.
4. Metode elemen hingga merupakan metode yang efektif untuk menganalisis aliran fluida pada hidrofuidisasi edamame yaitu diperoleh *error* relatif 0.0038326 dengan tingkat toleransi kesalahan perhitungan 0.01.
5. Cara mengasah kemampuan *Technological Content Knowledge* (TCK) melalui analisis model matematika aliran fluida pada hidrofuidisasi edamame dengan menggunakan metode elemen hingga yaitu dengan 5 indikator TK

(*Technological Knowledge*) dan 5 indikator CK (*Content Knowledge*) dengan rentang skor 1-5 pada setiap indikator dan divalidasi oleh 5 validator.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis numerik aliran fluida pada hidrofluidisasi edamame:

1. Pemodelan aliran fluida pada hidrofluidisasi edamame menggunakan metode elemen hingga ini dapat dikembangkan dengan melakukan penelitian berdasarkan analisis faktor-faktor lain yang mempengaruhi proses hidrofluidisasi edamame.
2. Simulasi aliran fluida pada hidrofluidisasi edamame dapat dilakukan dengan bantuan *software* simulasi selain MATLAB dan FLUENT.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anton, H. 1987. *Aljabar Linier Elementer*. Jakarta: Erlangga
- Arikunto, S. 1992. *Prosedur Penelitian Suatu Praktek*. Jakarta: Rineka Cipta
- Asadi. 2009. *Karakteristik Plasma Nutfah untuk Perbaikan Varietas Kedelai Sayur (Edamame)*. Buletin Plasma Nutfah. No. 15, Vol 2, hal 59-69
- Chai, C. S., J. H. L. Koh, dan C.C. Tsai. 2013. *A Review of Technological Pedagogical Content Knowledge*. Educational Technology and Society. No. 16, Vol. 2, hal: 31-51
- Coolong, T. 2008. *Edamame*. College of Agriculture. Kentucky: University of Kentucky
- Dolu, A. (Mei, 2010). *Metode Elemen Hingga dengan MATLAB dan Aplikasi SAP 2000 untuk Analisis Struktur Cangkang*. SMARTek Jurnal, No. 2, Vol. 8, hal 153-168
- Fatahillah, A. (April, 2010). *Pemodelan dan Penyelesaian Numerik dari Permasalahan Korosi Besi yang Didasarkan pada Sifat Kimia Larutan*. Kadik-Ma, No. 1, Vol. 2, hal 106-112
- Fatahillah, A. 2011. *Buku Pegangan Mata Kuliah Mathematical Modelling Computational Fluid Dynamics*. Jember : FKIP
- Halliday, Resnick, dan Walker. 2005. *Fisika Dasar (Edisi 7)*. Jakarta: Erlangga
- Iswanto, R. J. 2012. *Pemodelan Matematika Aplikasi dan Terapannya*. Yogyakarta: Graha Ilmu

- Johnson, D., S. Wang, dan A. Suzuki. 1999. *Edamame Vegetable Soybean for Colorado*. It Perspective on New Crops and New Uses. Alexandria: ASHS Press
- Koestoer, R. A. 2002. *Perpindahan Kalor: untuk Mahasiswa Teknik*. Jakarta: Salemba.
- Liang, J.Z. dan F. H. Li. 2007. *Simulation of Heat Transfer in Hollow-Glass-Bead-Filled Polypropylene Composites by Finite Element Method*. Guangzhou: South China University of Technology
- Luknanto, D. 2001. *Metode Numerik*. Yogyakarta: Teknik Sipil FT UGM
- Mangunwidjaja, D. dan I. Sailah. 2009. *Pengantar Teknologi Pertanian*. Bogor: Penebar Swadaya
- Manonama, Tiny dan W. Soetopo. (Juni, 2008). *Pemodelan Sebagai Sarana dalam Mencapai Solusi Optimal*. [Online]. Jurnal Teknik Sipil, No.3, Vol 8, hal 184-192
- Marsudi, dkk. 2008. *Psikologi Pendidikan*. Surakarta: BP FKIP UMS
- Mulyadi, S. (Desember, 2015). *Analisa Kegagalan Produk Cutting Disc Mesin Pemotong Krupuk Singkong dengan Metode Elemen Hingga*. ROTOR, No. 2, Vol. 8.
- Orona, D. J., Susana E. Z., dan J. M. Peralta. 2017. *Computational Fluid Dynamics Combined With Discrete Element Method and Discrete Phase Model For Studying A Food Hydrofluidization System*. Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral
- Pusadan, M. Y. 2014. *Pemrograman MATLAB pada Sistem Pakar Fuzzy*. Yogyakarta: Deepublish

- Samosir, K. K. dan Masykur. (Mei, 2014). *Perbandingan Metode Fast-Decouple dan Metode Gauss-Seidell dalam Solusi Aliran Daya Sistem Distribusi 20KV dengan Menggunakan Etap Power Station dan MATLAB*. Singuda Ensikom, No. 2, Vol. 7, hal 55-60
- Santoso. 1984. *Pemodelan Matematika*. Jakarta: Erlangga
- Satori, D. dan A. Komariah. 2013. *Metodologi Penelitian Kualitatif*. Bandung: Alfabeta
- Sciarappa, W. J. dan V. Quinn. 2004. *Edamame: The Vegetable Soybean*. Rutgers Cooperative Research and Extension. New Jersey Agricultural Experiment Station. hal 3
- Setiawan, A. 2014. *Kedelai Jember Tembus Pasar Internasional*. [Diakses pada 13 September 2017]
- Sianipar, R. H. 2013. *Pemrograman MATLAB dalam Contoh dan Terapan*. Bandung: Informatika
- Suarga. 2012. *Algoritma dan Pemrograman*. Yogyakarta: Andi
- Sugiyono. 2014. *Metode Penelitian*. Bandung: Alfabeta
- Susatio, Y. 2004. *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga*. Yogyakarta: Andi
- Syaefudin, U. dan A. Syamsudin. 2005. *Perencanaan Pendidikan Pendekatan Komprehensif*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya Tur Dot
- Tuakia, F. 2008. *Dasar-dasar CFD Menggunakan Fluent*. Bandung: Informatika

- Utami, E. dan Sukrisno. 2005. *10 Langkah Belajar Logika dan Algoritma, Menggunakan Bahasa C dan C++ di GNU/Linux*. Yogyakarta: Andi
- Verboven, P., N. Scheerlinck, dan B. M. Nicolai. 2003. *Surface Heat Transfer Coefficients to Stationary Spherical Particles in an Experimental Unit for Hydrofluidization Freezing of Individual Foods*. International Journal of Refrigeration. Vol: 26, hal 328-336
- Welty, James R., et al. 2004. *Dasar-Dasar Fenomena Transport Edisi Keempat Volume I Transfer Momentum*. Jakarta: Erlangga
- Yusuf, D. F. 2010. *Analisa Perbandingan Penggunaan Flens JIS 10 K dengan PN 16 pada Sistem Pemanas Muatan yang Terdapat di Kapal Tanker 6300 DWT Menggunakan Finite Element Method*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Surabaya: Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh November
- Yusup, M. 2013. *Jurnal Pendekatan Pemodelan Matematik dalam Pembelajaran Fisika*. Seminar Nasional Fisika. [Online]. [http: eprints.unsri.ac.id](http://eprints.unsri.ac.id) [Diakses pada 21 Agustus 2017]

LAMPIRAN

LAMPIRAN A. Matrik Penelitian

Judul	Rumusan Masalah	Variabel	Indikator	Sumber Data	Jenis Penelitian
Analisis Model Matematika Aliran Fluida pada Hidrofluidisasi Edamame Menggunakan Metode Elemen Hingga untuk Mengasah <i>Technological Content Knowledge</i>	1. Bagaimana model matematika aliran fluida pada hidrofluidisasi edamame? 2. Bagaimana analisis pengaruh kecepatan awal cairan pendingin terhadap kecepatan cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame menggunakan metode elemen hingga? 3. Bagaimana analisis pengaruh diameter lubang pelat terhadap kecepatan cairan	1. Model matematika 2. Aliran fluida 3. Hidrofluidisasi 4. Metode elemen hingga 5. <i>Technological Content Knowledge</i>	1. Menentukan model matematika aliran fluida pada hidrofluidisasi edamame. 2. Menganalisis pengaruh kecepatan awal cairan pendingin terhadap kecepatan cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame menggunakan metode elemen hingga. 3. Menganalisis pengaruh diameter lubang pelat bejana	1. Fluid Mechanics 7th edition by Frank White. 2. Jesica D. Orona, S. E. Zorrilla, J.M. Peralta 2017. Computational Fluid Dynamics Combined with Discrete Element Method and Discrete Phase Model for Studying a	Simulasi

Judul	Rumusan Masalah	Variabel	Indikator	Sumber Data	Jenis Penelitian
	<p>pendingin pada hidrofluidisasi edamame menggunakan metode elemen hingga. edamame menggunakan metode elemen hingga.</p> <p>4. Bagaimana efektivitas metode elemen hingga dalam menganalisis aliran fluida pada hidrofluidisasi edamame.</p> <p>5. Bagaimana cara mengasah TCK melalui analisis model matematika aliran fluida pada hidrofluidisasi edamame menggunakan metode elemen hingga.</p>		<p>terhadap kecepatan cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame menggunakan metode elemen hingga.</p> <p>4. Mengetahui efektivitas metode elemen hingga dalam menganalisis aliran fluida pada hidrofluidisasi edamame.</p> <p>5. Mengetahui cara mengasah TCK melalui analisis model matematika aliran fluida pada hidrofluidisasi edamame menggunakan metode elemen hingga.</p>	<p>Food Hydrofluidization System.</p> <p>3. An International Journal Computers and Fluids.</p>	

LAMPIRAN B. FORMAT *PROGRAMMING* MATLABB.1 Format *Programming* Simulasi Kecepatan Aliran Cairan Pendingin pada Hidrofluidisasi Edamame yang Dipengaruhi Oleh Ukuran Diameter Lubang Pelat Bejana Menggunakan Metode Eksak

```

clear all;
clc;
disp('-----');
disp('    SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN CAIRAN PENDINGIN    ');
disp('          PADA HIDROFLUIDISASI EDAMAME          ');
disp('    dipengaruhi oleh ukuran diameter lubang pelat bejana    ');
disp('          Menggunakan Metode Eksak          ');
disp('          Oleh :          ');
disp('          Ratna Damayanti          ');
disp('          NIM 140210101066          ');
disp('-----');
%Persamaan momentum
N=input('masukkan banyak diskritisasi = ');
v=input('masukkan kecepatan awal = ');
if v<0
    msgbox('v tidak boleh kurang dari 0 ');
    return;
end
r1=0.005;           %jari-jari lubang pelat bejana
r2=0.0075;         %jari-jari lubang pelat bejana
r3=0.01;           %jari-jari lubang pelat bejana
r4=0.0125;         %jari-jari lubang pelat bejana
r5=0.015;          %jari-jari lubang pelat bejana
d1=2*r1;           %
d2=2*r2;           %
d3=2*r3;           %
d4=2*r4;           %
d5=2*r5;           %

```

```

rho=0.98; %massa jenis cairan pendingin
rhop=0.78; %massa jenis edamame
Re=3.5*10^-5; %bilangan Reynold
Cd=24*(1+0.15*Re^0.687)/Re; %
K=10; %
miu=15*10^-7; %kekentalan zat
delta=2.5; %koefisien gesek
gamma=0.01; %koefisien dumping
e=0.05; %overlap lubang
Fd1=(18*miu*(1+0.15*Re^0.687))/(rhop*d1^2);
Fd2=(18*miu*(1+0.15*Re^0.687))/(rhop*d2^2);
Fd3=(18*miu*(1+0.15*Re^0.687))/(rhop*d3^2);
Fd4=(18*miu*(1+0.15*Re^0.687))/(rhop*d4^2);
Fd5=(18*miu*(1+0.15*Re^0.687))/(rhop*d5^2);
Fdem=(K*delta-gamma*v*e)*e;
l=N*0.005; %panjang benda
g=9.8; %gaya gravitasi
ng=2*N+1;
disp(['Banyaknya node global y:',num2str(ng)]);
t=input('masukkan waktu = ');
dt=1;

%Matriks
A1kcl=[(-1*rho*v/2) (2*rho*v/3) (-1*rho*v/6)
        (-2*rho*v/3) (0) (2*rho*v/3)
        (1*rho*v/6) (-2*rho*v/3) (1*rho*v/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*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)=(((Fd1*v+Fdem)*1)/3)-g+rho*g;
r1_old(2,1)=(4*(Fd1*v+Fdem)*1)/3;
r1_old(2*N+1,1)=(((Fd1*v+Fdem)*1)/3)+g-rho*g;
r1_all=r1_old;
r2_old=zeros(2*N+1,1);
r2_old(1,1)=(((Fd2*v+Fdem)*1)/3)-g+rho*g;
r2_old(2,1)=(4*(Fd2*v+Fdem)*1)/3;
r2_old(2*N+1,1)=(((Fd2*v+Fdem)*1)/3)+g-rho*g;
r2_all=r2_old;
r3_old=zeros(2*N+1,1);
r3_old(1,1)=(((Fd3*v+Fdem)*1)/3)-g+rho*g;
r3_old(2,1)=(4*(Fd3*v+Fdem)*1)/3;
r3_old(2*N+1,1)=(((Fd3*v+Fdem)*1)/3)+g-rho*g;
r3_all=r3_old;
r4_old=zeros(2*N+1,1);
r4_old(1,1)=(((Fd4*v+Fdem)*1)/3)-g+rho*g;
r4_old(2,1)=(4*(Fd4*v+Fdem)*1)/3;
r4_old(2*N+1,1)=(((Fd4*v+Fdem)*1)/3)+g-rho*g;
r4_all=r4_old;
r5_old=zeros(2*N+1,1);
r5_old(1,1)=(((Fd5*v+Fdem)*1)/3)-g+rho*g;
r5_old(2,1)=(4*(Fd5*v+Fdem)*1)/3;
r5_old(2*N+1,1)=(((Fd5*v+Fdem)*1)/3)+g-rho*g;
r5_all=r5_old;

```

```
%D adalah matriks di ruas kiri
D=A1bsr+2/dt*B1bsr;
%E adalah matriks di ruas kanan
E=A1bsr-2/dt*B1bsr;
r1_new=D\r1_old;
r1_all=[r1_all r1_new];
r1_old=r1_new;
r2_new=D\r2_old;
r2_all=[r2_all r2_new];
r2_old=r2_new;
r3_new=D\r3_old;
r3_all=[r3_all r3_new];
r3_old=r3_new;
r4_new=D\r4_old;
r4_all=[r4_all r4_new];
r4_old=r4_new;
r5_new=D\r5_old;
r5_all=[r5_all r5_new];
r5_old=r5_new;
%Penyelesaian dalam waktu
for i=1:t
    r1_new=D\(-E*r1_old);
    r1_all=[r1_all r1_new];
    r1_old=r1_new;
    r2_new=D\(-E*r2_old);
    r2_all=[r2_all r2_new];
    r2_old=r2_new;
    r3_new=D\(-E*r3_old);
    r3_all=[r3_all r3_new];
    r3_old=r3_new;
    r4_new=D\(-E*r4_old);
    r4_all=[r4_all r4_new];
    r4_old=r4_new;
```

```
rall4_plot=[];
r5_new=D\(-E*r5_old);
r5_all=[r5_all r5_new];
r5_old=r5_new;
rall5_plot=[];
end

figure;
grafik1=v0+(mean(r1_all));
grafik2=v0+(mean(r2_all));
grafik3=v0+(mean(r3_all));
grafik4=v0+(mean(r4_all));
grafik5=v0+(mean(r5_all));
plot(grafik1),'-*b');
hold on;
plot(grafik2),'-*r');
hold on;
plot(grafik3),'-og');
hold on;
plot(grafik2),'-or');
hold on;
plot(grafik3),'-og');
hold on;
title('Program Simulasi Aliran Cairan Pendingin Dipengaruhi Oleh
Ukuran Diameter Lubang Pelat Bejana',...
'color',[0 0 1],'fontweight','bold','fontsize',14);
xlabel('Panjang Bejana','color',[0 0 1],...
'fontweight','bold','fontsize',12);
ylabel('Kecepatan','color',[0 0 1],...
'fontweight','bold','fontsize',12);
```

**B.2 Format *Programming* Simulasi Kecepatan Aliran Cairan Pendingin pada Hidrofluidisasi Edamame yang Dipengaruhi Oleh Ukuran Diameter Lubang Pelat Bejana Menggunakan Metode *Gauss Seidel***

```

clear all;
clc;
disp('-----');
disp('    SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN CAIRAN PENDINGIN    ');
disp('          PADA HIDROFLUIDISASI EDAMAME          ');
disp('    dipengaruhi oleh ukuran diameter lubang pelat bejana    ');
disp('          Menggunakan Metode \emph{Gauss Seidel}          ');
disp('                      Oleh :                      ');
disp('                      Ratna Damayanti                      ');
disp('                      NIM 140210101066                      ');
disp('-----');
%Persamaan momentum
N=input('masukkan banyak diskritisasi = ');
v=input('masukkan kecepatan awal = ');
if v<0
    msgbox('v tidak boleh kurang dari 0 ');
    return;
end
r1=0.005;           %jari-jari lubang pelat bejana
r2=0.0075;         %jari-jari lubang pelat bejana
r3=0.01;           %jari-jari lubang pelat bejana
r4=0.0125;         %jari-jari lubang pelat bejana
r5=0.015;          %jari-jari lubang pelat bejana
d1=2*r1;           %
d2=2*r2;           %
d3=2*r3;           %
d4=2*r4;           %
d5=2*r5;           %
rho=0.98;          %massa jenis cairan pendingin

```

```

rhop=0.78; %massa jenis edamame
Re=3.5*10^-5; %bilangan Reynold
Cd=24*(1+0.15*Re^0.687)/Re; %
K=10; %
miu=15*10^-7; %kekentalan zat
delta=2.5; %koefisien gesek
gamma=0.01; %koefisien dumping
e=0.05; %overlap lubang
Fd1=(18*miu*(1+0.15*Re^0.687))/(rhop*d1^2);
Fd2=(18*miu*(1+0.15*Re^0.687))/(rhop*d2^2);
Fd3=(18*miu*(1+0.15*Re^0.687))/(rhop*d3^2);
Fd4=(18*miu*(1+0.15*Re^0.687))/(rhop*d4^2);
Fd5=(18*miu*(1+0.15*Re^0.687))/(rhop*d5^2);
Fdem=(K*delta-gamma*v*e)*e;
l=N*0.005; %panjang benda
g=9.8; %gaya gravitasi
ng=2*N+1;
disp(['Banyaknya node global y:',num2str(ng)]);
t=input('masukkan waktu = ');
dt=1;

%Matriks
A1kcl=[(-1*rho*v/2) (2*rho*v/3) (-1*rho*v/6)
        (-2*rho*v/3) (0) (2*rho*v/3)
        (1*rho*v/6) (-2*rho*v/3) (1*rho*v/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*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)=(((Fd1*v+Fdem)*1)/3)-g+rho*g;
r1_old(2,1)=(4*(Fd1*v+Fdem)*1)/3;
r1_old(2*N+1,1)=(((Fd1*v+Fdem)*1)/3)+g-rho*g;
r1_all=r1_old;
r2_old=zeros(2*N+1,1);
r2_old(1,1)=(((Fd2*v+Fdem)*1)/3)-g+rho*g;
r2_old(2,1)=(4*(Fd2*v+Fdem)*1)/3;
r2_old(2*N+1,1)=(((Fd2*v+Fdem)*1)/3)+g-rho*g;
r2_all=r2_old;
r3_old=zeros(2*N+1,1);
r3_old(1,1)=(((Fd3*v+Fdem)*1)/3)-g+rho*g;
r3_old(2,1)=(4*(Fd3*v+Fdem)*1)/3;
r3_old(2*N+1,1)=(((Fd3*v+Fdem)*1)/3)+g-rho*g;
r3_all=r3_old;
r4_old=zeros(2*N+1,1);
r4_old(1,1)=(((Fd4*v+Fdem)*1)/3)-g+rho*g;
r4_old(2,1)=(4*(Fd4*v+Fdem)*1)/3;
r4_old(2*N+1,1)=(((Fd4*v+Fdem)*1)/3)+g-rho*g;
r4_all=r4_old;
r5_old=zeros(2*N+1,1);
r5_old(1,1)=(((Fd5*v+Fdem)*1)/3)-g+rho*g;
r5_old(2,1)=(4*(Fd5*v+Fdem)*1)/3;
r5_old(2*N+1,1)=(((Fd5*v+Fdem)*1)/3)+g-rho*g;
r5_all=r5_old;

%D adalah matriks di ruas kiri
D=A1bsr+2/dt*B1bsr;

```

%E adalah matriks di ruas kanan

```
E=A1bsr-2/dt*B1bsr;
```

```
r1_new=D\r1_old;
```

```
r1_all=[r1_all r1_new];
```

```
r1_old=r1_new;
```

```
r2_new=D\r2_old;
```

```
r2_all=[r2_all r2_new];
```

```
r2_old=r2_new;
```

```
r3_new=D\r3_old;
```

```
r3_all=[r3_all r3_new];
```

```
r3_old=r3_new;
```

```
r4_new=D\r4_old;
```

```
r4_all=[r4_all r4_new];
```

```
r4_old=r4_new;
```

```
r5_new=D\r5_old;
```

```
r5_all=[r5_all r5_new];
```

```
r5_old=r5_new;
```

%Penyelesaian dalam waktu

```
for i=1:t
```

```
    r1_new=D\(-E*r1_old);
```

```
    r1_all=[r1_all r1_new];
```

```
    r1_old=r1_new;
```

```
    rall1_plot=[];
```

```
    r2_new=D\(-E*r2_old);
```

```
    r2_all=[r2_all r2_new];
```

```
    r2_old=r2_new;
```

```
    rall2_plot=[];
```

```
    r3_new=D\(-E*r3_old);
```

```
    r3_all=[r3_all r3_new];
```

```
    r3_old=r3_new;
```

```
    rall3_plot=[];
```

```
    r4_new=D\(-E*r4_old);
```

```

r4_all=[r4_all r4_new];
r4_old=r4_new;
rall4_plot=[];
r5_new=D\(-E*r5_old);
r5_all=[r5_all r5_new];
r5_old=r5_new;
rall5_plot=[];
end

%Gauss-Seidel
T=0.01;          %Toleransi
X0=zeros(2*N+1,1);
X0(1:2*N+1)=1.000;
H=X0';
w=length(1);
X1=X0;
X2=X0;
X3=X0;
X4=X0;
X5=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);
        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);
    end
    e=abs(X2-X0);
    error=norm(e);
    reller=error/(norm(X2)+eps);
    X0=X1;
    H=[H,X0'];
    if(error<T)|(reller<T)
        break
    end
end
disp(['besarnya error= ',num2str(error)]);
disp(['besarnya relatif error= ',num2str(reller)]);
H;
X2;
r1_all=[r1_all];
rall1_plot=[rall1_plot];
r2_all=[r2_all];
rall2_plot=[rall2_plot];
r3_all=[r3_all];
rall3_plot=[rall3_plot];
r4_all=[r4_all];
rall4_plot=[rall4_plot];
r5_all=[r5_all];
rall5_plot=[rall5_plot];

figure;
grafik1=v0+(mean(r1_all));
grafik2=v0+(mean(r2_all));
grafik3=v0+(mean(r3_all));
grafik4=v0+(mean(r4_all));
grafik5=v0+(mean(r5_all));
plot(grafik1,'-*b');
```

```

hold on;
plot(grafik2),'-*r');
hold on;
plot(grafik3),'-og');
hold on;
plot(grafik2),'-or');
hold on;
plot(grafik3),'-og');
hold on;
title('Program Simulasi Aliran Cairan Pendingin Dipengaruhi Oleh
Ukuran Diameter Lubang Pelat Bejana',...
      'color',[0 0 1],'fontweight','bold','fontsize',14);
xlabel('Panjang Bejana','color',[0 0 1],...
      'fontweight','bold','fontsize',12);
ylabel('Kecepatan','color',[0 0 1],...
      'fontweight','bold','fontsize',12);
disp('Gauss-Seidel method converged');

```

### B.3 Format *Programming* Simulasi Kecepatan Aliran Cairan Pendingin pada Hidrofluidisasi Edamame yang Dipengaruhi Oleh Kecepatan Awal Cairan Pendingin dengan Menggunakan Metode Eksak

```

clear all;
clc;
disp('-----');
disp('      SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN CAIRAN PENDINGIN      ');
disp('                PADA HIDROFLUIDISASI EDAMAME                ');
disp('      dipengaruhi oleh kecepatan awal cairan pendingin      ');
disp('                Menggunakan Metode Eksak                ');
disp('                Oleh :                ');
disp('                Ratna Damayanti                ');
disp('                NIM 140210101066                ');

```

```

disp('-----');
%Persamaan momentum
N=input('masukkan banyak diskritisasi = ');
r=input('masukkan jari-jari lubang pelat bejana = ');
if r<0
    msgbox('r tidak boleh kurang dari 0 ');
    return;
end
v1=1; %kecepatan awal (m/s^2)
v2=1.125; %kecepatan awal (m/s^2)
v3=1.25; %kecepatan awal (m/s^2)
v4=1.375; %kecepatan awal (m/s^2)
v5=1.5; %kecepatan awal (m/s^2)
v0=1.25; %kecepatan awal rata-rata (m/s^2)
d=2*r;
rho=0.98; %massa jenis cairan pendingin
rhop=0.78; %massa jenis edamame
Re=3.5*10^-5; %bilangan Reynold
Cd=24*(1+0.15*Re^0.687)/Re;
K=10; %ketetapan
miu=15*10^-7; %kekentalan zat
delta=2.5; %koefisien gesek
gamma=0.01; %koefisien dumping
e=0.05; %overlap lubang
Fd=(18*miu*(1+0.15*Re^0.687))/(rhop*d^2);
Fdem1=(K*delta-gamma*v1*e)*e;
Fdem2=(K*delta-gamma*v2*e)*e;
Fdem3=(K*delta-gamma*v3*e)*e;
Fdem4=(K*delta-gamma*v4*e)*e;
Fdem5=(K*delta-gamma*v5*e)*e;
l=N*0.005; %panjang benda
g=9.8; %gaya gravitasi
ng=2*N+1;

```

```

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

\A1kcl=[(-1*rho*v1/2) (2*rho*v1/3) (-1*rho*v1/6)
        (-2*rho*v1/3) (0) (2*rho*v1/3)
        (1*rho*v1/6) (-2*rho*v1/3) (1*rho*v1/2)];
A2kcl=[(-1*rho*v2/2) (2*rho*v2/3) (-1*rho*v2/6)
        (-2*rho*v2/3) (0) (2*rho*v2/3)
        (1*rho*v2/6) (-2*rho*v2/3) (1*rho*v2/2)];
A3kcl=[(-1*rho*v3/2) (2*rho*v3/3) (-1*rho*v3/6)
        (-2*rho*v3/3) (0) (2*rho*v3/3)
        (1*rho*v3/6) (-2*rho*v3/3) (1*rho*v3/2)];
A4kcl=[(-1*rho*v4/2) (2*rho*v4/3) (-1*rho*v4/6)
        (-2*rho*v4/3) (0) (2*rho*v4/3)
        (1*rho*v4/6) (-2*rho*v4/3) (1*rho*v4/2)];
A5kcl=[(-1*rho*v5/2) (2*rho*v5/3) (-1*rho*v5/6)
        (-2*rho*v5/3) (0) (2*rho*v5/3)
        (1*rho*v5/6) (-2*rho*v5/3) (1*rho*v5/2)];
A1bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
A2bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
A3bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
A4bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
A5bsr=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;
    A4bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=
        A4bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+A2kcl;

```

```

A5bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=
    A5bsr(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)=(((Fd*v+Fdem1)*1)/3)-g+rho*g;
r1_old(2,1)=(4*(Fd*v+Fdem1)*1)/3;
r1_old(2*N+1,1)=(((Fd*v+Fdem1)*1)/3)+g-rho*g;
r1_all=r1_old;
r2_old=zeros(2*N+1,1);
r2_old(1,1)=(((Fd*v+Fdem2)*1)/3)-g+rho*g;
r2_old(2,1)=(4*(Fd*v+Fdem2)*1)/3;
r2_old(2*N+1,1)=(((Fd*v+Fdem2)*1)/3)+g-rho*g;
r2_all=r2_old;
r3_old=zeros(2*N+1,1);
r3_old(1,1)=(((Fd*v+Fdem3)*1)/3)-g+rho*g;
r3_old(2,1)=(4*(Fd*v+Fdem3)*1)/3;
r3_old(2*N+1,1)=(((Fd*v+Fdem3)*1)/3)+g-rho*g;
r3_all=r3_old;
r4_old=zeros(2*N+1,1);
r4_old(1,1)=(((Fd*v+Fdem4)*1)/3)-g+rho*g;
r4_old(2,1)=(4*(Fd*v+Fdem4)*1)/3;
r4_old(2*N+1,1)=(((Fd*v+Fdem4)*1)/3)+g-rho*g;
r4_all=r4_old;
r5_old=zeros(2*N+1,1);

```

```
r5_old(1,1)=(((Fd*v+Fdem5)*1)/3)-g+rho*g;
r5_old(2,1)=(4*(Fd*v+Fdem5)*1)/3;
r5_old(2*N+1,1)=(((Fd*v+Fdem5)*1)/3)+g-rho*g;
r5_all=r5_old;
```

```
%D adalah matriks di ruas kiri
```

```
D1=A1bsr+2/dt*B1bsr;
```

```
D2=A2bsr+2/dt*B1bsr;
```

```
D3=A3bsr+2/dt*B1bsr;
```

```
D4=A4bsr+2/dt*B1bsr;
```

```
D5=A5bsr+2/dt*B1bsr;
```

```
%E adalah matriks di ruas kanan
```

```
E1=A1bsr-2/dt*B1bsr;
```

```
E2=A2bsr-2/dt*B1bsr;
```

```
E3=A3bsr-2/dt*B1bsr;
```

```
E4=A4bsr-2/dt*B1bsr;
```

```
E5=A5bsr-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;
```

```
%Penyelesaian dalam waktu
for i=1:t
    r1_new=D1\(-E1*r1_old);
    r1_all=[r1_all r1_new];
    r1_old=r1_new;
    r2_new=D2\(-E2*r2_old);
    r2_all=[r2_all r2_new];
    r2_old=r2_new;
    r3_new=D3\(-E3*r3_old);
    r3_all=[r3_all r3_new];
    r3_old=r3_new;
    r4_new=D4\(-E4*r4_old);
    r4_all=[r4_all r4_new];
    r4_old=r4_new;
    r5_new=D5\(-E5*r5_old);
    r5_all=[r5_all r5_new];
    r5_old=r5_new;
end

figure;
grafik1=v0+(mean(r1_all));
grafik2=v0+(mean(r2_all));
grafik3=v0+(mean(r3_all));
grafik4=v0+(mean(r4_all));
grafik5=v0+(mean(r5_all));
plot(grafik1,'-*b');
hold on;
plot(grafik2,'-*r');
hold on;
plot(grafik3,'-og');
hold on;
plot(grafik2,'-or');
hold on;
```

```

plot(grafik3),'-og');
hold on;
title('Program Simulasi Aliran Cairan Pendingin Dipengaruhi Oleh
Kecepatan Awal Cairan Pendingin',...
      'color',[0 0 1],'fontweight','bold','fontsize',14);
xlabel('Panjang Bejana','color',[0 0 1],...
      'fontweight','bold','fontsize',12);
ylabel('Kecepatan','color',[0 0 1],...
      'fontweight','bold','fontsize',12);

```

#### B.4 Format *Programming* Simulasi Kecepatan Aliran Cairan Pendingin pada Hidrofluidisasi Edamame yang Dipengaruhi Oleh Kecepatan Awal Cairan Pendingin dengan Menggunakan Metode Eksak

```

clear all;
clc;
disp('-----');
disp('      SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN CAIRAN PENDINGIN      ');
disp('                PADA HIDROFLUIDISASI EDAMAME                ');
disp('      dipengaruhi oleh kecepatan awal cairan pendingin      ');
disp('                Menggunakan Metode Eksak                ');
disp('                Oleh :                ');
disp('                Ratna Damayanti                ');
disp('                NIM 140210101066                ');
disp('-----');
%Persamaan momentum
N=input('masukkan banyak diskritisasi = ');
r=input('masukkan jari-jari lubang pelat bejana = ');
if r<0
    msgbox('r tidak boleh kurang dari 0 ');
    return;
end

```

```

v1=1; %kecepatan awal (m/s^2)
v2=1.125; %kecepatan awal (m/s^2)
v3=1.25; %kecepatan awal (m/s^2)
v4=1.375; %kecepatan awal (m/s^2)
v5=1.5; %kecepatan awal (m/s^2)
v0=1.25; %kecepatan awal rata-rata (m/s^2)
d=2*r;
rho=0.98; %massa jenis cairan pendingin
rhop=0.78; %massa jenis edamame
Re=3.5*10^-5; %bilangan Reynold
Cd=24*(1+0.15*Re^0.687)/Re;
K=10; %ketetapan
miu=15*10^-7; %kekentalan zat
delta=2.5; %koefisien gesek
gamma=0.01; %koefisien dumping
e=0.05; %overlap lubang
Fd=(18*miu*(1+0.15*Re^0.687))/(rhop*d^2);
Fdem1=(K*delta-gamma*v1*e)*e;
Fdem2=(K*delta-gamma*v2*e)*e;
Fdem3=(K*delta-gamma*v3*e)*e;
Fdem4=(K*delta-gamma*v4*e)*e;
Fdem5=(K*delta-gamma*v5*e)*e;
l=N*0.005; %panjang benda
g=9.8; %gaya gravitasi
ng=2*N+1;
disp(['Banyaknya node global y:',num2str(ng)]);
t=input('masukkan waktu = ');
dt=1;

\A1kcl=[(-1*rho*v1/2) (2*rho*v1/3) (-1*rho*v1/6)
(-2*rho*v1/3) (0) (2*rho*v1/3)
(1*rho*v1/6) (-2*rho*v1/3) (1*rho*v1/2)];
A2kcl=[(-1*rho*v2/2) (2*rho*v2/3) (-1*rho*v2/6)

```

```

        (-2*rho*v2/3) (0) (2*rho*v2/3)
        (1*rho*v2/6) (-2*rho*v2/3) (1*rho*v2/2)];
A3kcl=[(-1*rho*v3/2) (2*rho*v3/3) (-1*rho*v3/6)
        (-2*rho*v3/3) (0) (2*rho*v3/3)
        (1*rho*v3/6) (-2*rho*v3/3) (1*rho*v3/2)];
A4kcl=[(-1*rho*v4/2) (2*rho*v4/3) (-1*rho*v4/6)
        (-2*rho*v4/3) (0) (2*rho*v4/3)
        (1*rho*v4/6) (-2*rho*v4/3) (1*rho*v4/2)];
A5kcl=[(-1*rho*v5/2) (2*rho*v5/3) (-1*rho*v5/6)
        (-2*rho*v5/3) (0) (2*rho*v5/3)
        (1*rho*v5/6) (-2*rho*v5/3) (1*rho*v5/2)];
A1bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
A2bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
A3bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
A4bsr=zeros(2*N+1,2*N+1);
A5bsr=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;
    A4bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=
        A4bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)+A2kcl;
    A5bsr(2*i+1:2*i+3,2*i+1:2*i+3)=
        A5bsr(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)=(((Fd*v+Fdem1)*1)/3)-g+rho*g;
r1_old(2,1)=(4*(Fd*v+Fdem1)*1)/3;
r1_old(2*N+1,1)=(((Fd*v+Fdem1)*1)/3)+g-rho*g;
r1_all=r1_old;
r2_old=zeros(2*N+1,1);
r2_old(1,1)=(((Fd*v+Fdem2)*1)/3)-g+rho*g;
r2_old(2,1)=(4*(Fd*v+Fdem2)*1)/3;
r2_old(2*N+1,1)=(((Fd*v+Fdem2)*1)/3)+g-rho*g;
r2_all=r2_old;
r3_old=zeros(2*N+1,1);
r3_old(1,1)=(((Fd*v+Fdem3)*1)/3)-g+rho*g;
r3_old(2,1)=(4*(Fd*v+Fdem3)*1)/3;
r3_old(2*N+1,1)=(((Fd*v+Fdem3)*1)/3)+g-rho*g;
r3_all=r3_old;
r4_old=zeros(2*N+1,1);
r4_old(1,1)=(((Fd*v+Fdem4)*1)/3)-g+rho*g;
r4_old(2,1)=(4*(Fd*v+Fdem4)*1)/3;
r4_old(2*N+1,1)=(((Fd*v+Fdem4)*1)/3)+g-rho*g;
r4_all=r4_old;
r5_old=zeros(2*N+1,1);
r5_old(1,1)=(((Fd*v+Fdem5)*1)/3)-g+rho*g;
r5_old(2,1)=(4*(Fd*v+Fdem5)*1)/3;
r5_old(2*N+1,1)=(((Fd*v+Fdem5)*1)/3)+g-rho*g;
r5_all=r5_old;

%D adalah matriks di ruas kiri
D1=A1bsr+2/dt*B1bsr;
D2=A2bsr+2/dt*B1bsr;

```

```
D3=A3bsr+2/dt*B1bsr;
D4=A4bsr+2/dt*B1bsr;
D5=A5bsr+2/dt*B1bsr;
%E adalah matriks di ruas kanan
E1=A1bsr-2/dt*B1bsr;
E2=A2bsr-2/dt*B1bsr;
E3=A3bsr-2/dt*B1bsr;
E4=A4bsr-2/dt*B1bsr;
E5=A5bsr-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;

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

```

r3_new=D3\(-E3*r3_old);
r3_all=[r3_all r3_new];
r3_old=r3_new;
r4_new=D4\(-E4*r4_old);
r4_all=[r4_all r4_new];
r4_old=r4_new;
r5_new=D5\(-E5*r5_old);
r5_all=[r5_all r5_new];
r5_old=r5_new;
end

%Gauss-Seidel
T=0.01;      %Toleransi
X0=zeros(2*N+1,1);
X0(1:2*N+1)=1.000;
H=X0';
w=length(1);
X1=X0;
X2=X0;
X3=X0;
X4=X0;
X5=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)-r2_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);
    end
end

```

```
        X5(i)=S5/r5_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];

figure;
grafik1=v0+(mean(r1_all));
grafik2=v0+(mean(r2_all));
grafik3=v0+(mean(r3_all));
grafik4=v0+(mean(r4_all));
grafik5=v0+(mean(r5_all));
plot(grafik1),'-*b');
```

```
hold on;
plot(grafik2),'-*r');
hold on;
plot(grafik3),'-og');
hold on;
plot(grafik2),'-or');
hold on;
plot(grafik3),'-og');
hold on;
title('Program Simulasi Aliran Cairan Pendingin Dipengaruhi Oleh
Kecepatan Awal Cairan Pendingin',...
      'color',[0 0 1],'fontweight','bold','fontsize',14);
xlabel('Panjang Bejana','color',[0 0 1],...
      'fontweight','bold','fontsize',12);
ylabel('Kecepatan','color',[0 0 1],...
      'fontweight','bold','fontsize',12);
disp('Gauss-Seidel method converged');
```

## LAMPIRAN C. HASIL SIMULASI MATLAB DENGAN METODE EKSAK

### C.1 Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Cairan Pendingin dengan Diameter 0.01 m, 0.015 m, 0.02 m, 0.025 m, dan 0.03 m

Node ke-	0.01 m (m/s)	0.015 m (m/s)	0.02 m (m/s)	0.025 m (m/s)	0.03 m (m/s)
1	1.2580	1.2570	1.2570	1.2570	1.2560
2	1.2520	1.2510	1.2510	1.2510	1.2510
3	1.2490	1.2490	1.2490	1.2490	1.2490
4	1.2440	1.2440	1.2450	1.2450	1.2450
5	1.2370	1.2380	1.2390	1.2390	1.2390
6	1.2270	1.2300	1.2310	1.2310	1.2320
7	1.2150	1.2200	1.2210	1.2220	1.2220
8	1.2010	1.2070	1.2090	1.2100	1.2110
9	1.1850	1.1930	1.1960	1.1970	1.1980
10	1.1660	1.1770	1.1810	1.1820	1.1830
11	1.1450	1.1590	1.1640	1.1660	1.1670
12	1.1220	1.1390	1.1440	1.1470	1.1490
13	1.0960	1.1160	1.1230	1.1270	1.1280
14	1.0690	1.0920	1.1010	1.1040	1.1070
15	1.0390	1.0660	0.1076	1.0800	1.0830
16	1.0060	1.0380	0.1050	1.0550	1.0570
17	1.0960	1.0080	0.1021	1.0270	1.0300
18	0.9719	0.9764	0.9908	0.9975	1.0010
19	0.8960	0.9425	0.9587	0.9662	0.9703
20	0.8547	0.9066	0.9247	0.9331	0.9377
21	0.8111	0.8687	0.8889	0.8982	0.9033
22	0.7653	0.8289	0.8512	0.8615	0.8671
23	0.7171	0.7871	0.8166	0.8229	0.8291
24	0.6667	0.7433	0.7702	0.7826	0.7893
25	0.6141	0.6976	0.7269	0.7404	0.7477
26	0.5591	0.6499	0.6817	0.6964	0.7044
27	0.5019	0.6003	0.6347	0.6506	0.6593

**C.2 Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Cairan Pendingin pada Hidrofluidisasi Edamame dengan Kecepatan Awal 1 m/s, 1.125 m/s, 1.25 m/s, 1.375 m/s, dan 1.5 m/s**

Node ke-	1 m/s (m/s)	1.125 m/s (m/s)	1.25 m/s (m/s)	1.375 m/s (m/s)	1.5 m/s (m/s)
1	1.2560	1.2560	1.2560	1.2560	1.2560
2	1.2510	1.2510	1.2510	1.2510	1.2510
3	1.2480	1.2480	1.2490	1.2460	1.2500
4	1.2420	1.2440	1.2450	1.2420	1.2470
5	1.2350	1.2370	1.2400	1.2360	1.2440
6	1.2240	1.2280	1.2320	1.2280	1.2390
7	1.2110	1.2170	1.2230	1.2200	1.2330
8	1.1960	1.2040	1.2120	1.2170	1.2260
9	1.1780	1.1890	1.2000	1.2090	1.2180
10	1.1570	1.1720	1.1860	1.1980	1.2090
11	1.1340	1.1530	1.1700	1.1850	1.1990
12	1.1090	1.1310	1.1520	1.1710	1.1870
13	1.0810	1.1080	1.1320	1.1550	1.1750
14	1.0510	1.0820	1.1110	1.1380	1.1610
15	1.0180	1.0550	1.0880	1.1190	1.1460
16	0.9826	1.0250	1.0640	1.0990	1.1310
17	0.9447	0.9932	1.0380	1.0780	1.1140
18	0.9044	0.9592	1.0090	1.0550	1.0960
19	0.8616	0.9232	0.9796	1.0310	1.0760
20	0.8163	0.8851	0.9481	1.0050	1.0560
21	0.7685	0.8449	0.9148	0.9781	1.0350
22	0.7182	0.8026	0.8798	0.9497	1.0120
23	0.6654	0.7582	0.8431	0.9200	0.9888
24	0.6101	0.7118	0.8046	0.8888	0.9641
25	0.5524	0.6632	0.7645	0.8562	0.9384
26	0.4921	0.6125	0.7226	0.8222	0.9115
27	0.4294	0.5598	0.6789	0.7868	0.8835

**LAMPIRAN D.HASIL SIMULASI MATLAB DENGAN METODE GAUSS-SEIDEL**

**D.1 Kecepatan Aliran Cairan Pendingin dengan Diameter 0.01 m, 0.015 m, 0.02 m, 0.025 m dan 0.03 m**

Node ke-	0.01 m (m/s)	0.015 m (m/s)	0.02 m (m/s)	0.025 m (m/s)	0.03 m (m/s)
1	1.2580	1.2570	1.2570	1.2570	1.2560
2	1.2520	1.2510	1.2510	1.2510	1.2510
3	1.2490	1.2490	1.2490	1.2490	1.2490
4	1.2440	1.2450	1.2450	1.2440	1.2450
5	1.2370	1.2390	1.2390	1.2380	1.2390
6	1.2270	1.2310	1.2310	1.2300	1.2320
7	1.2150	1.2220	1.2210	1.2200	1.2220
8	1.2010	1.2100	1.2090	1.2070	1.2110
9	1.1850	1.1970	1.1960	1.1930	1.1980
10	1.1660	1.1820	1.1810	1.1770	1.1830
11	1.1450	1.1660	1.1640	1.1590	1.1670
12	1.1220	1.1470	1.1440	1.1390	1.1490
13	1.0960	1.1270	1.1230	1.1160	1.1280
14	1.0690	1.1040	1.1010	1.0920	1.1070
15	1.0390	1.0800	1.0760	1.0660	1.0830
16	1.0060	1.0550	1.0500	1.0380	1.0570
17	0.9719	1.0270	1.0210	1.0080	1.0300
18	0.9351	0.9975	0.9908	0.9764	1.0010
19	0.8960	0.9661	0.9587	0.9425	0.9703
20	0.8547	0.9331	0.9247	0.9066	0.9377
21	0.8111	0.8982	0.8889	0.8267	0.9033
22	0.7653	0.8615	0.8512	0.8289	0.8671
23	0.7171	0.8229	0.8116	0.7871	0.8291
24	0.6667	0.7826	0.7702	0.7433	0.7893
25	0.6141	0.7404	0.7269	0.6976	0.7077
26	0.5591	0.6964	0.6817	0.6449	0.7044
27	0.5019	0.6506	0.6347	0.6003	0.6593

**D.2 Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Cairan Pendingin pada Hidrofluidisasi Edamame dengan Kecepatan Awal 1 m/s, 1.125 m/s, 1.25 m/s, 1.375 m/s, dan 1.5 m/s**

Node ke-	1.5 m/s (m/s)	1.375 m/s (m/s)	1.25 m/s (m/s)	1.125 m/s (m/s)	1 m/s (m/s)
1	1.2570	1.2570	1.2570	1.2570	1.2570
2	1.2520	1.2520	1.2510	1.2510	1.2510
3	1.2500	1.2490	1.2490	1.2480	1.2470
4	1.2470	1.2460	1.2450	1.2430	1.2420
5	1.2430	1.2410	1.2390	1.2360	1.2330
6	1.2380	1.2350	1.2300	1.2260	1.2210
7	1.2320	1.2260	1.2200	1.2140	1.0600
8	1.2240	1.2170	1.2080	1.1990	1.1890
9	1.2150	1.2060	1.1940	1.1820	1.1680
10	1.2050	1.1930	1.1790	1.1630	1.1450
11	1.1940	1.1790	1.1610	1.1410	1.1190
12	1.1820	1.1630	1.1410	1.1170	1.0910
13	1.1680	1.1460	0.9833	1.0910	1.0590
14	1.1530	1.1270	1.0960	1.0620	1.0250
15	1.1370	1.1060	1.0710	1.0320	0.9878
16	1.1200	1.0840	1.0440	0.9982	0.9478
17	1.1020	1.0610	1.0140	0.9625	0.9050
18	1.0820	1.0360	0.9833	0.9245	0.8594
19	1.0610	1.0090	0.9503	0.8842	0.8110
20	1.0390	0.9812	0.9153	0.8415	0.7597
21	1.0160	0.9516	0.8784	0.7965	0.7056
22	0.9918	0.9204	0.8396	0.7491	0.6488
23	0.9661	0.8877	0.7989	0.6994	0.5891
24	0.9393	0.8535	0.7562	0.6474	0.5266
25	0.9113	0.8177	0.7117	0.5930	0.4612
26	0.8821	0.7803	0.6652	0.5362	0.3291
27	0.8516	0.7415	0.6168	0.4771	0.3221

## LAMPIRAN E. Lembar Validasi

## E.1 Pedoman Validasi

**PEDOMAN VALIDASI**  
**TUGAS AKHIR SARJANA PENDIDIKAN MATEMATIKA**

NAMA MAHASISWA : RATNA DAMAYANTI  
 NIM : 140210101066  
 JUDUL SKRIPSI : ANALISIS MODEL MATEMATIKA ALIRAN  
 FLUIDA PADA HIDROFLUIDISASI EDAMAME  
 MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA  
 UNTUK MENGASAH TCK

Petunjuk!

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

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowledge</i> )	Peneliti memiliki pengetahuan cukup tentang kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame menggunakan metode elemen hingga.					
	Peneliti mampu menentukan variabel keadaan yang akan diteliti.					
	Peneliti mampu mengembangkan model matematika kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame.					

Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowledge</i> )	Peneliti mampu menyelesaikan model matematika kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame menggunakan metode elemen hingga.					
	Peneliti mampu menganalisis hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.					
TK ( <i>Techno- logical Knowledge</i> )	Peneliti mampu menuliskan bahasa pemrograman untuk menyelesaikan model matematika kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame 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.					

Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
TK ( <i>Techno-logical Knowledge</i> )	Peneliti mampu menentukan kondisi batas pada setiap variabel keadaan sebagai input data pada FLUENT.					
	Peneliti mampu membuat simulasi kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame dengan menggunakan FLUENT.					

IDENTITAS *VALIDATOR*

NAMA : .....

NIM : .....

Jember, .....

*Validator*

(.....)

**E2. Lembar Analisis Hasil Validasi**

Hasil analisis validasi oleh validator dijelaskan pada tabel berikut.

Aspek kemampuan TCK	Indikator	Penilaian Validator ke-					$I_i$	$A_i$	Capaian Teoritis	Capaian Validasi	$V_a$
		1	2	3	4	5					
CK	1a	4	5	4	3	4	4	4.32	50%	43%	4.42
	1b	5	4	4	4	5	4.4				
	1c	4	5	5	4	4	4.4				
	1d	5	5	4	5	5	4.8				
	1e	4	4	4	4	4	4				
TK	2a	5	5	5	5	5	5	4.52	50%	45%	
	2b	5	4	5	4	5	4.6				
	2c	4	4	4	5	5	4.4				
	2d	5	4	4	4	4	4.2				
	2e	4	5	4	5	4	4.4				

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

**E3. Penilaian Validator**

Penilaian Validator 1

**PEDOMAN VALIDASI**  
**TUGAS AKHIR SARJANA PENDIDIKAN MATEMATIKA**

NAMA MAHASISWA : RATNA DAMAYANTI  
 NIM : 140210101066  
 JUDUL SKRIPSI : ANALISIS MODEL MATEMATIKA ALIRAN FLUIDA PADA HIDROFLUIDISASI EDAMAME MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA UNTUK MENGASAH TCK

Petunjuk!

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

b) Rubrik Penilaian:

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

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowledge</i> )	Peneliti memiliki pengetahuan cukup tentang kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame menggunakan metode elemen hingga.				✓	
	Peneliti mampu menentukan variabel keadaan yang akan diteliti.				✓	
	Peneliti mampu mengembangkan model matematika kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame.					✓

Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowl- edge</i> )	Peneliti mampu menyelesaikan model matematika kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame menggunakan metode elemen hingga.				✓	
	Peneliti mampu menganalisis hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.				✓	
TK ( <i>Technological Knowl- edge</i> )	Peneliti mampu menuliskan bahasa pemrograman untuk menyelesaikan model matematika kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame 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.				✓	

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 cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame dengan menggunakan FLUENT.				✓	

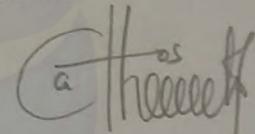
IDENTITAS VALIDATOR

NAMA : Siti Aisyah

NIM : .....

Jember, 28 Mei 2018

Validator

  
(Siti Aisyah)

Penilaian Validator 2

**PEDOMAN VALIDASI  
TUGAS AKHIR SARJANA PENDIDIKAN MATEMATIKA**

NAMA MAHASISWA : RATNA DAMAYANTI  
 NIM : 140210101066  
 JUDUL SKRIPSI : ANALISIS MODEL MATEMATIKA ALIRAN FLUIDA PADA HIDROFLUIDISASI EDAMAME MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA UNTUK MENGASAH TCK

Petunjuk!

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

b) Rubrik Penilaian:

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

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowledge</i> )	Peneliti memiliki pengetahuan cukup tentang kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame menggunakan metode elemen hingga.				✓	
	Peneliti mampu menentukan variabel keadaan yang akan diteliti.					✓
	Peneliti mampu mengembangkan model matematika kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame.				✓	

Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowl- edge</i> )	Peneliti mampu menyelesaikan model matematika kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame menggunakan metode elemen hingga.					✓
	Peneliti mampu menganalisis hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.				✓	
TK ( <i>Technological Knowl- edge</i> )	Peneliti mampu menuliskan bahasa pemrograman untuk menyelesaikan model matematika kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame 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.					✓

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 cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame dengan menggunakan FLUENT.				✓	

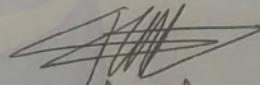
IDENTITAS VALIDATOR

NAMA : Budi Adi S

NIM : -

Jember, 1 Juni 2018

Validator



(Budi Adi S)

Penilaian Validator 3

**PEDOMAN VALIDASI  
TUGAS AKHIR SARJANA PENDIDIKAN MATEMATIKA**

NAMA MAHASISWA : RATNA DAMAYANTI  
 NIM : 140210101066  
 JUDUL SKRIPSI : ANALISIS MODEL MATEMATIKA ALIRAN FLUIDA PADA HIDROFLUIDISASI EDAMAME MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA UNTUK MENGASAH TCK

Petunjuk!

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

b) Rubrik Penilaian:

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

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowledge</i> )	Peneliti memiliki pengetahuan cukup tentang kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame menggunakan metode elemen hingga.			✓		
	Peneliti mampu menentukan variabel keadaan yang akan diteliti.				✓	
	Peneliti mampu mengembangkan model matematika kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame.				✓	

Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowledge</i> )	Peneliti mampu menyelesaikan model matematika kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame menggunakan metode elemen hingga.					✓
	Peneliti mampu menganalisis hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.				✓	
TK ( <i>Technological Knowledge</i> )	Peneliti mampu menuliskan bahasa pemrograman untuk menyelesaikan model matematika kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame 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.					✓

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 cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame dengan menggunakan FLUENT.					✓

IDENTITAS VALIDATOR

NAMA : A. Rizqi Lazvardi

NIM : .....

Jember, 31 Mei 2018

Validator

(A. Rizqi Lazvardi)

Penilaian Validator 4

**PEDOMAN VALIDASI  
TUGAS AKHIR SARJANA PENDIDIKAN MATEMATIKA**

NAMA MAHASISWA : RATNA DAMAYANTI  
 NIM : 140210101066  
 JUDUL SKRIPSI : ANALISIS MODEL MATEMATIKA ALIRAN FLUIDA PADA HIDROFLUIDISASI EDAMAME MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA UNTUK MENGASAH TCK

Petunjuk!

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

b) Rubrik Penilaian:

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

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowledge</i> )	Peneliti memiliki pengetahuan cukup tentang kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame menggunakan metode elemen hingga.					✓
	Peneliti mampu menentukan variabel keadaan yang akan diteliti.				✓	
	Peneliti mampu mengembangkan model matematika kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame.					✓

Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowledge</i> )	Peneliti mampu menyelesaikan model matematika kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame menggunakan metode elemen hingga.					✓
	Peneliti mampu menganalisis hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.				✓	
TK ( <i>Technological Knowledge</i> )	Peneliti mampu menuliskan bahasa pemograman untuk menyelesaikan model matematika kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame 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.				✓	

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 cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame dengan menggunakan FLUENT.					✓

IDENTITAS VALIDATOR

NAMA : PUTRI NUR A

NIM : .....

Jember, 28 Mei 2018

Validator

(PUTRI NUR A)

Penilaian Validator 5

**PEDOMAN VALIDASI  
TUGAS AKHIR SARJANA PENDIDIKAN MATEMATIKA**

NAMA MAHASISWA : RATNA DAMAYANTI  
 NIM : 140210101066  
 JUDUL SKRIPSI : ANALISIS MODEL MATEMATIKA ALIRAN FLUIDA PADA HIDROFLUIDISASI EDAMAME MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA UNTUK MENGASAH TCK

Petunjuk!

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

b) Rubrik Penilaian:

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

Aspek Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowledge</i> )	Peneliti memiliki pengetahuan cukup tentang kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame menggunakan metode elemen hingga.				✓	
	Peneliti mampu menentukan variabel keadaan yang akan diteliti.					✓
	Peneliti mampu mengembangkan model matematika kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame.				✓	

Kemampuan TCK	Indikator	Nilai				
		1	2	3	4	5
CK ( <i>Content Knowl- edge</i> )	Peneliti mampu menyelesaikan model matematika kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame menggunakan metode elemen hingga.					✓
	Peneliti mampu menganalisis hasil komputasi MATLAB dan visualisasi simulasi FLUENT.				✓	
TK ( <i>Technological Knowl- edge</i> )	Peneliti mampu menuliskan bahasa pemrograman untuk menyelesaikan model matematika kecepatan aliran cairan pendingin pada hidrofuidisasi edamame 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.				✓	

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 cairan pendingin pada hidrofluidisasi edamame dengan menggunakan FLUENT.				✓	

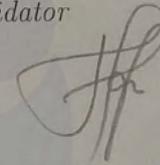
IDENTITAS VALIDATOR

NAMA : Riska Amalia Hakim

NIM : 501101001000000

Jember, 28 Mei 2018

Validator



(RISKA AMALIA HAKIM)



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.fkip.unesa.ac.id](http://www.fkip.unesa.ac.id)

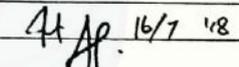
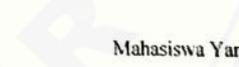
### LEMBAR REVISI SKRIPSI

NAMA MAHASISWA : Ratna Damayanti  
 NIM : 140210101066  
 JUDUL SKRIPSI : Analisis Model Matematika Aliran Fluida pada Hidrofluidisasi Edamame Menggunakan Metode Elemen Hingga untuk Mengasah *Technological Content Knowledge*  
 TANGGAL UJIAN : 11 Juli 2018  
 PEMBIMBING : Susi Setiawani, S.Si., M.Sc.  
 Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.

### **MATERI PEMBETULAN / PERBAIKAN**

No.	HALAMAN	HAL-HAL YANG HARUS DIPERBAIKI
1.	40	Tambahkan tabel lambang beserta satuan dan sumbernya
2.	44, 45, 46	Perbaiki penulisan rumus
3.	61, 62, 64	Ukuran gambar simulasi FLUENT diperkecil
4.	66	Tambahkan pengaruh pembekuan pada edamame
5.		
6.		

### **PERSETUJUAN TIM PENGUJI**

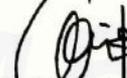
JABATAN	NAMA TIM PENGUJI	TTD dan Tanggal
Ketua	Susi Setiawani, S.Si., M.Sc.	 16/7 '18
Sekretaris	Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.	
Anggota	Prof. Drs. Dafik., M.Sc., Ph.D.	
	Drs. Suharto, M.Kes.	

Jember, 12 Juli 2018  
 Mengetahui / menyetujui :

Dosen Pembimbing I,

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

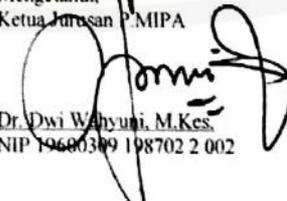
Dosen Pembimbing II,

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

Mahasiswa Yang Bersangkutan

  
Ratna Damayanti  
 NIM 140210101066

Mengetahui,  
 Ketua Jurusan P.MIPA

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