



**ANALISA ALIRAN FLUIDA MENGGUNAKAN CFD
DENGAN VARIABEL *VISCOSITY* PADA
PREPROSES INJEKSI MOLDING**

SKRIPSI

Oleh

Amal All Gazali

NIM 131910101106

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER**

2018



**ANALISA ALIRAN FLUIDA MENGGUNAKAN CFD
DENGAN VARIABEL *VISCOSITY* PADA
PREPROSES INJEKSI MOLDING**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Amal All Gazali

NIM 131910101106

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER**

2018

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. *Almarhum* Ibunda Juhra dan Ayahanda Bahri yang tercinta serta selalu memberikan do'a, dukungan, kepercayaan, dan memberikan kasih sayangnya yang tak terbatas.
2. Putri Amalia adikku tersayang yang selalu memberikan semangat
3. Teman-teman hijrah dari KMPI Jember (Komunitas Mahasiswa Pecinta Ilmu) yang senantiasa mengajak kepada kebaikan serta saling menegur kepada keburukan
4. Para staf dan dosen teknik mesin unej yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu namanya terkhusus buat para pembimbing, penyuji, dan terkhusus buat ibu Intan yang telah meluangkan waktunya untuk mengajarkan simulasi CFD yang kami lakukan
5. Buat teman-teman instyid (institute of community development) terkhusus buat kanda Syarif Mabe Parenreng yang selalu memberikan dukungan serta motivasinya
6. Teman-teman relawan maupun karyawan YDSF (yayasan dana sosial al-falah) terkhusus buat pak Saiful Anam yang telah memberikan pinjaman sepeda motornya selama kuliah
7. Buat para ustadz STDIIS (sekolah tinggi dirasat islam imam syafi'i) yang selalu mengingatkan akan surga dan neraka, serta memberikan contoh yang baik dari sisi muamalah, akhlak, serta ibadah yang telah di contohkan oleh Rosulullah *salallhualaihiwasallam*
8. Tema-teman Teknik Mesin angkatan 2012 dan 2013 Universitas Jember yang telah membantu memotivasi dan memberikan dukungan sejak awal perkuliahan hingga saat ini.

Salam keselamatan bagi yang mengikuti hidayah

MOTTO

“(Ini adalah) kitab yang kami turunkan kepadamu supaya engkau mengeluarkan manusia dari kegelapan kepada cahaya terang benderang dengan izin Rabb mereka, (yaitu) menuju jalan Rabb yang Mahaperkasa lagi Maha Terpuji. Allahlah yang memiliki segala apa yang ada di langit dan bumi.” (QS. Ibrahim: 1-

2)

“Apakah ada pencipta selain Allah yang dapat memberikan rezeki kepadamu dari langit dan bumi? Tidak ada Ilah (yang berhak disembah) selain Dia.” (QS. Az

Zumar: 62)

“Tinggalkan apa yang meragukanmu kepada apa yang tidak meragukanmu.”

(Riwayat Tarmidzi)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Amal All Gazali

NIM : 131910101106

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisa Aliran Fluida Menggunakan CFD Dengan Variabel *Viscosity* Pada Preproses Injeksi Molding” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 11 januari 2018
Yang menyatakan,

(Amal All Gazali)
NIM 131910101106

SKRIPSI

**ANALISA ALIRAN FLUIDA MENGGUNAKAN CFD
DENGAN VARIABEL *VISCOSITY* PADA
PREPROSES INJEKSI MOLDING**

Oleh
Amal All Gazali
NIM 131910101106

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Hari Arbiyantara B., S.T., M.T
Dosen Pembimbing Anggota : Dr, Agus Triyono S.T., M.T

PENGESAHAN

Judul Skripsi “Analisa aliran fluida menggunakan CFD dengan variabel *viscosity* pada preproses injeksi molding” telah di uji dan di sahkan pada:

Hari, Tanggal : Kamis, 11 Januari 2018

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua (DPU)

Sekretaris (DPA)

Hari Arbiantara B., S.T., M.T
NIP: 196709241994121001

Dr. Agus Triono, S.T., M.T
NIP: 197008072002121001

Penguji I,

Penguji II,

Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T
NIP: 197111141999031002

Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T
NIP: 196812071995121002

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM
NIP: 196612151995032001

RINGKASAN

ANALISA ALIRAN FLUIDA MENGGUNAKAN CFD DENGAN VARIABEL *VISCOSITY* PADA PREPROSES INJEKSI MOLDING; Amal All Gazali, 131910101106; 2018; 45 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Injeksi molding adalah proses pembentukan plastik dimana plastik tersebut dipanaskan didalam sebuah injeksi yang di injekkan melalui nozzle ke dalam sebuah cetakan (mold) yang kemudian berbentuk sesuai dengan model yang telah dibuat pada cetakan tersebut.

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah metode penghitungan, memprediksi, dan pendekatan aliran fluida secara numerik dengan bantuan komputer. Aliran fluida dalam kehidupan nyata memiliki banyak sekali jenis dan karakteristik tertentu yang begitu kompleks, CFD melakukan pendekatan dengan metode numerik serta menggunakan persamaan-persamaan fluida.

Viscosity sangat mempengaruhi kecepatan aliran fluida di dalam proses injeksi molding. Maka dibutuhkan penelitian kecepatan aliran fluida dengan variabel *viscosity*. Apakah memiliki pengaruh atau selisih kecepatan aliran terhadap perubahan *viscosity*.

Pendekatan material ABS (*Acrylic Butadiene Styrene*) dari material plastik *propylene* yang telah tersedia di aplikasi CFD, maka di tentukan variabel *viscosity* yaitu: 344.20, 301.80, 280.30 dan 245.30 kg/m-s dengan temperatur tetap pada suhu 180°C dan kecepatan inlet 0.01 m/s.

Hasil CFD yang di peroleh kecepatan aliran fluida pada *viscosity* 344.20 kg/m-s dengan nilai kecepatan tertinggi 3.94e-02, pada *viscosity* 301.80 kg/m-s dengan nilai kecepatan tertinggi 3.95e-02, pada *viscosity* 280.30 kg/m-s dengan nilai kecepatan tertinggi 3.96e-02, pada *viscosity* 245.30 kg/m-s dengan nilai kecepatan tertinggi 3.97e-02, sehingga di dapatkan bahwa kecepatan disetiap penurunan *viscosity* ada selisih kecepatan sebesar 0.01 m/s.

SUMMARY

FLUID FLOW ANALYSIS USING CFD WITH VISCOSITY VARIABLE IN MOLDING INJECTION PREPROSES; Amal All Gazali, 131910101106; 2018; 45 pages; Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

Injection molding is a plastic forming process whereby the plastic is heated in an injection that is injected through the nozzle into a mold (mold) which is then shaped according to the model that has been made on the mold.

Computational Fluid Dynamics (CFD) is a method of calculating, predicting, and approaching fluid flow numerically with the help of a computer. The fluid flow in real life has so many complex types and characteristics that are so complex, CFDs approach numerical methods and use fluid equations.

Viscosity greatly influences the fluid flow velocity in the injection molding process. So it is necessary to study the fluid flow velocity with viscosity variable. Does it have influence or difference in flow velocity before viscosity change. Approach of ABS material (Acrylic Butadiene Styrene) from propylene plastic material already available in CFD application, then specified viscosity variables are: 344.20, 301.80, 280.30 and 245.30 kg / m-s with fixed temperature at 1800C and inlet speed 0.01 m / s.

Result of CFD obtained by fluid flow velocity at viscosity 344.20 kg / ms with highest speed of 3,94e-02, at viscosity 301.80 kg / ms with highest speed 3,95e-02, at viscosity 280.30 kg / ms with highest speed 3,96e -02, at viscosity 245.30 kg / ms with the highest speed of 3.97e-02, so get that speed of every viscosity decrease there is difference of speed equal to 0.01 m / s.

PRAKATA

Segala Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah *Subhanahuwata'ala*. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “analisa aliran fluida menggunakan CFD dengan variabel *viscosity* pada preproses injeksi molding”. Shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad *Salallahualaihiwasallam* sebagai sumber panutan umat manusia dalam menjalani syariat agama dan kehidupan di dunia ini. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis sangat berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu karena tidak lain tidak lepas dari bantuan berbagai pihak selama penyusunan skripsi ini kepada:

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M. selaku Dekan Faklutas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Hari Arbiantara B., S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Dr. Agus Triono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota.
3. Bapak Dr. Nasrul Ilmiyannafik, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota.
4. Seluruh dosen Universitas Jember khususnya Jurusan Teknik Mesin yang telah mengajar selama menjadi mahasiswa dan yang terkhusus buat dosen pembimbing akademik.

Penulis menyadari bahwa manusia tidak luput dari salah dan lupa sehingga penulis sangat menerima adanya kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga hasil dari penelitian pada skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada semua pihak.

Jember, 11 Januari 2018

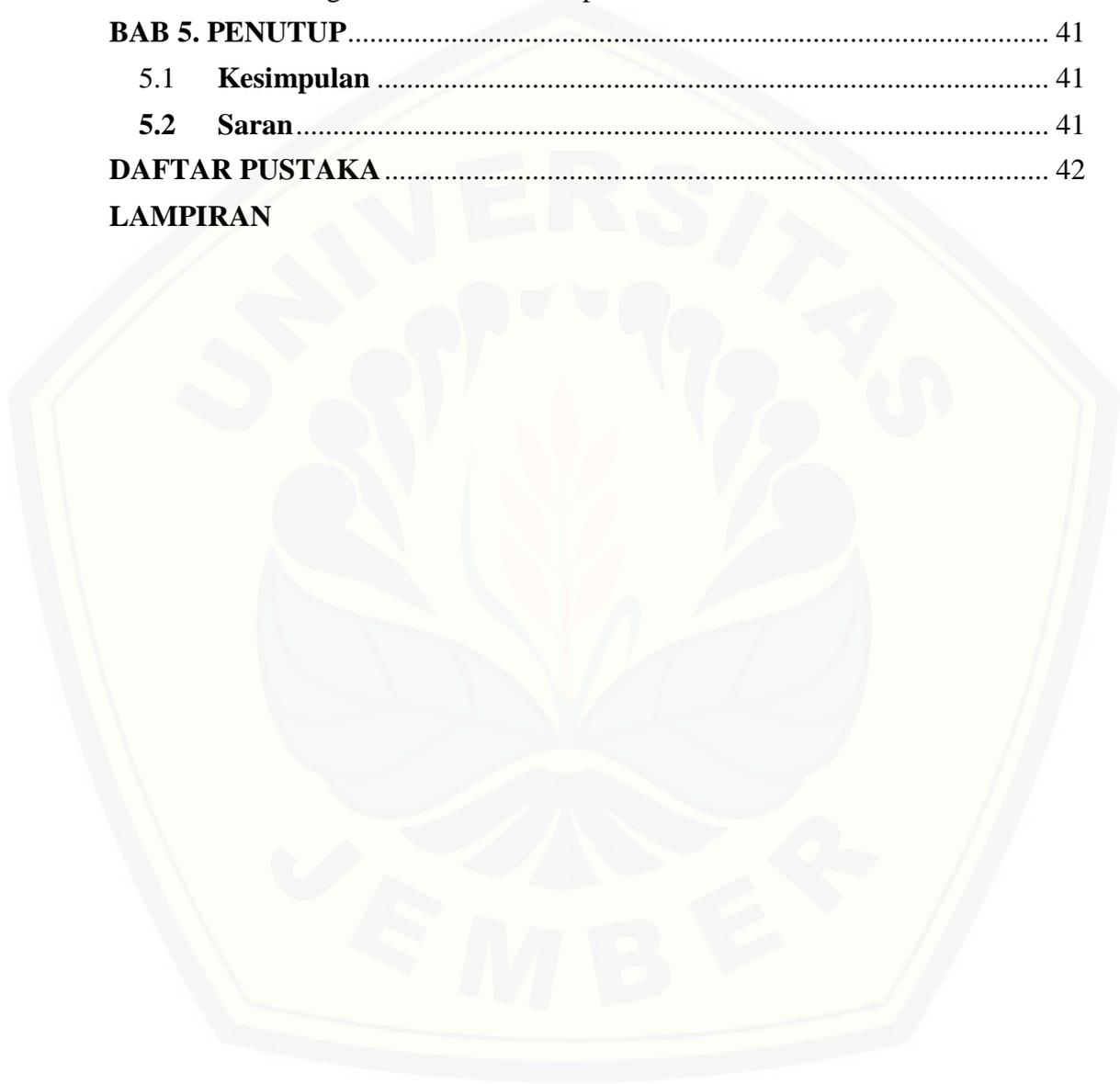
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL SKRIPSI	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
PEMBIMBING	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vi
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Injeksi Molding	4
2.1.1 Proses injeksi molding	4
2.1.2 Bagian-bagian mesin injeksi molding.....	4
2.1.3 Parameter berpengaruh injeksi molding.....	6
2.2 Cacat Produk	7
2.2.1 Short Shot.....	7
2.2.2 Flasin	7
2.2.3 Sink Mark.....	8
2.2.4 Colour Streaks	9
2.2.5 Bubbles.....	9
2.2.6 Jetting	10
2.2.7 Black Spot	10
2.2.8 Warping.....	11

2.3	Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)	12
2.4	Mekanika Fluida	13
2.4.1	Fluida Statis dan Dinamis	13
2.4.2	Sifat Dasar Fluida.....	14
2.5	Aliran Fluida	15
2.5.1	Klasifikasi Aliran	15
2.5.2	Kecepatan dan Kapasitas Aliran Fluida	15
2.5.3	Aliran Fluida Dalam Pipa.....	16
2.5.4	Aliran Fluida Pada Saluran Dengan Pembesaran Mendadak.....	17
2.6	Computational Fluid Dynamics (CFD)	17
2.6.1	Sejarah CFD	18
2.6.2	Proses Perhitungan CFD	19
2.7	Metode Numerik	20
2.7.1	Metode Beda Hingga.....	21
2.7.2	Metode Elemen Hingga.....	21
2.7.3	Metode Volume Hingga.....	21
2.8	Penelitian Sebelumnya	21
2.9	Hipotesa	22
BAB 3. METODOLOGI		23
3.1	Metode Penelitian	23
3.2	Waktu Penelitian dan Tempat Penelitian	23
3.3	Variabel Penelitian	23
3.3.1	Variabel Bebas	23
3.3.2	Variabel Terikat	23
3.4	Alat dan Bahan	24
3.5	Prosedur Penelitian	24
3.5.1	Tahapan Geometry, Meshing, dan Boundary Type.	24
3.5.2	Tahapan Simulasi dengan Software CFD	24
3.6	Diagram Alir	26
3.6.1	Diagram Alir Langkah Kerja	26
3.6.2	Diagram Alir Simulasi	27
BAB 4. PEMBAHASAN		28
4.1	Data Hasil Percobaan	28
4.1.1	Geometry.....	28

4.1.2	Meshing.....	29
4.1.3	Setup.....	30
4.2	Analisa hasil simulasi	34
4.2.1	Perbandingan hasil simulasi <i>contour velocity</i>	34
4.2.2	Plot grafik fenomena kecepatan aliran	39
BAB 5. PENUTUP.....		41
5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA.....		42
LAMPIRAN		



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mesin injeksi	5
Gambar 2. 2 Profil kecepatan pada saluran tertutup	16
Gambar 2. 3 Profil kecepatan pada saluran terbuka.....	16
Gambar 2. 4 Profil aliran fluida pada pipa.....	17
Gambar 4. 1 Barel 2 dimensi.....	28
Gambar 4. 2 Barel 2 dimensi setelah pendevinisian	28
Gambar 4. 3 <i>Mesh edge sizing and face meshing</i>	29
Gambar 4. 4 Batasan <i>inlet, outlen, wall, and Interior</i>	29
Gambar 4. 5 <i>Reference values</i> (nilai sumber acuan).....	31
Gambar 4. 6 Grafik hasil iterasi	32
Gambar 4. 7 Plot iterasi ke 157 pada <i>viscosity</i> 344.20 kg/m-s	33
Gambar 4. 8 Plot iterasi 157 pada <i>viscosity</i> 301.80 kg/m-s	33
Gambar 4. 9 Plot iterasi 156 pada <i>viscosity</i> 280.30 kg/m-s	33
Gambar 4. 10 Plot iterasi 155 pada <i>viscosity</i> 245.30 kg/m-s	34
Gambar 4. 11 <i>Countour velocity Barel</i>	35
Gambar 4. 12 <i>Countour velocity</i> pada <i>velocity</i> 344.20 kg/m-s.....	36
Gambar 4. 13 <i>Countour velocity</i> pada <i>velocity</i> 301.80 kg/m-s.....	36
Gambar 4. 14 <i>Countour velocity</i> pada <i>velocity</i> 280.30 kg/m-s.....	37
Gambar 4. 15 <i>Countour velocity</i> pada <i>velocity</i> 280.30 kg/m-s.....	37
Gambar 4. 16 Grafik perubahan <i>viscositas</i> (Solanki)	38
Gambar 4. 17 Plot grafik pada <i>viscosity</i> 344.20 kg/m-s	39
Gambar 4. 18 Plot grafik pada <i>viscosity</i> 301.80 kg/m-s	39
Gambar 4. 19 Plot grafik pada <i>viscosity</i> 280.30 kg/m-s	39
Gambar 4. 20 Plot grafik pada <i>viscosity</i> 245.30 kg/m-s	40

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Injeksi molding adalah proses pembentukan plastik dimana plastik tersebut dipanaskan didalam sebuah injeksi yang diinjekkan melalui *nozzle* ke dalam sebuah cetakan (*mold*) yang kemudian berbentuk sesuai dengan model yang telah dibuat pada cetakan tersebut.

Dalam proses injeksi molding sering dijumpai berbagai kendala dalam perancangan yang disebabkan dari bentuk model yang kompleks maupun aliran fluida plastik yang melalui *nozzle* tidak sempurna dikarenakan kekentalan fluida tersebut. Tidak jarang desain yang telah dirancang, namun setelah dibuat ternyata tidak dapat menghasilkan produk seperti yang dikehendaki ataupun terdapat cacat yang fatal, yang diakibatkan oleh aliran fluida plastik yang kurang sempurna dikarenakan temperatur leleh plastik.

Temperatur leleh plastik sangat mempengaruhi kekentalan fluida. Temperatur yang tinggi dapat membantu menurunkan viskositas plastik cair yang dapat mempermudah aliran sehingga proses pengisiannya akan lebih mudah. (Sugondo dkk, 2007). Pada hasil penelitian simulasi pada tekanan injeksi 90 MPa dan temperatur leleh plastik 265⁰ C bahwa *Shear stress* dapat diakibatkan oleh kurangnya temperatur leleh plastik sehingga memperbesar tegangan material. Tegangan ini diakibatkan oleh gesekan antara plastik cair yang mengalir dengan dinding rongga cetakan. Salah satu cara untuk mengatasinya yaitu dengan menaikkan temperatur leleh plastik agar memudahkan aliran (Sugondo dkk, 2007). Hubungan antara *viscosity* dan temperatur, *viscosity* dari semua minyak, yang bersifat mineral maupun sintetik, akan berubah sejalan dengan temperatur. Tahapan ketergantungan *viscosity* pada temperatur dinamik dan *viscosity* kinematik akan menjadi jelas oleh laju temperatur *viscosity*. *Viskositas* dapat kita ukur dengan sebuah *viskositas engler*, dimana dicantumkan perbandingan antara waktu mengalir keluar suatu minyak terhadap waktu tersebut untuk air (Krist, 1991, hal.40,65).

Untuk mengetahui kecepatan aliran fluida pada *nozzle* injeksi molding perlu penelitian lebih lanjut dengan metode analisa menggunakan *software*. Pada penelitian sebelumnya perhitungan laju aliran fluida pada jaringan pipa oleh Nurcholis (2008) dan analisa aliran fluida *newtonian* pada pipa tidak horizontal oleh Tiwow (2015). Fadhili (2016) meneliti studi numerik *sudden expansion meso combustor* pada *micro power generator*, menggunakan aplikasi CFD. Sugondo dkk (2007) meminimalisasi cacat dengan pengaturan tekanan terhadap kualitas produk pada proses injection molding menggunakan simulasi. Ridwan (2002) analisa aliran *vortex* pada pembesaran saluran pipa dengan teknologi *computational fluid dynamics*.

Kemajuan di bidang teknologi pengolahan data dan informasi yang sangat pesat salah satunya adalah komputer. Hal tersebut dapat dilihat dari penggunaan aplikasi *Software* yang memiliki bagian utama yaitu desain gambar CAD (*Computer Aided Design*). Aplikasi CFD adalah salah satu produk aplikasi yang dapat difungsikan sebagai alat desain serta mensimulasikan aliran fluida.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah simulasi aliran fluida dengan menggunakan *software* CFD *Fluid Flow versi 15.0* dengan variasi *viscosity* untuk mengetahui perubahan kecepatan yang terjadi pada aliran fluida tersebut. Dengan menggunakan *software* ini dapat dianalisa mengenai kecepatan aliran fluida yang dipengaruhi oleh *viscosity*. Dari simulasi ini, dapat digunakan sebagai suatu acuan dalam mendesain suatu proses *injeksi molding*, sehingga dapat mengurangi kemungkinan terjadi kegagalan dalam pembuatan produk.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini sebagai pengkerucutan persoalan

- a. Diameter barel tidak di perhitungkan
- b. Perubahan temperatur dan *viscosity* sepanjang barel

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan hasil simulasi pada kecepatan aliran fluida untuk mengetahui apakah aliran fluida terpengaruh oleh *viscosity* pada injeksi molding.

1.5 Manfaat

- a. Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mendukung proses injeksi molding yang optimal pada pembuatan produk plastik dengan sistem proses injeksi molding
- b. Dapat diketahui kecepatan aliran fluida yang pada setiap perubahan *viscosity* saat proses injeksi molding
- c. Dapat memberikan tambahan referensi bagi kalangan akademik untuk keperluan studi dan penelitian selanjutnya mengenai topik permasalahan yang sama

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Injeksi Molding

Injeksi molding adalah proses pembentukan yang dikehendaki dari material kompon (*plastic/compound articles*) dengan menggunakan alat bantu yang berupa cetakan yang dalam proses pembuatannya menggunakan perlakuan panas dan pemberian tekanan.

Pemilihan proses molding secara umum ditentukan oleh pemilihan material untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan. Selain hal tersebut, pemilihan proses cetakan juga dipengaruhi oleh bentuk desain produknya.

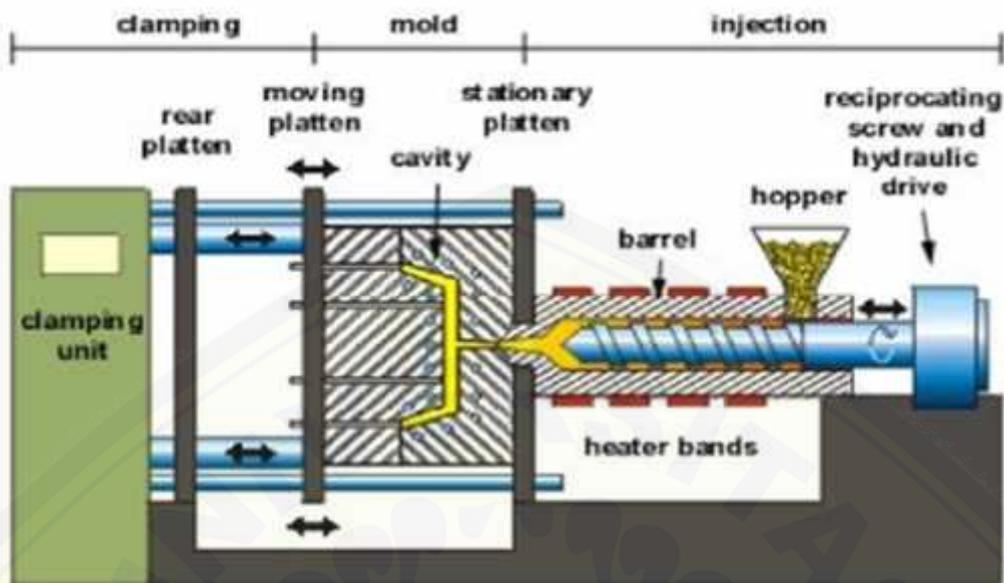
2.1.1 Proses Injeksi Molding

Proses injeksi molding untuk material *thermoplastic*, karena dengan pemanasan, material ini akan menjadi lunak. Dan sebaliknya, akan mengeras lagi bila didinginkan. Perubahan hanya bersifat fisik, bukan perubahan kimia, artinya proses pelunakan dan pengerasan kembali bisa diulang setiap saat, sehingga memungkinkan mendaur ulang material termoplastik sesuai dengan kebutuhan.

Material plastik yang berbentuk butiran ditempatkan di *hopper* yang memaksa material masuk ke dalam silinder injeksi. Sejumlah material yang akan diproses akan diukur dan didorong dengan torak piston dalam silinder pemanas. Material yang sudah dipanasi sampai mencair didorong melalui *nozzle* dan melalui *sprue bushing* ke dalam rongga (*cavity*) dari *mold* yang sudah tertutup. Setelah didinginkan, cetakan dibuka dan benda yang sudah mengeras dikeluarkan dengan *ejector*. Panas yang diberikan pada material biasanya berkisar antara 3500 – 5250 F (1770 – 7240 C). Ghanbari dkk (2009)

2.1.2 Bagian-bagian mesin injeksi molding

Secara umum konstruksi mesin *injection molding* terdiri dari tiga unit pokok yang penting yaitu *clamping unit*, *injection unit* and *mold unit*. Gambar 2.1 berikut menunjukkan tiga unit bagian mesin injeksi molding.



Gambar 2. 1 Mesin injeksi

a. *Clamping Unit*

Clamping unit berfungsi membuka dan menutup *mold*.

b. *Mold*

Molding unit adalah bagian yang membentuk benda yang akan dicetak.

c. *Injection Unit*

Injection unit merupakan unit yang berfungsi untuk melelehkan plastik dengan suhu yang disesuaikan dengan material plastik hingga mendorong cairan ke dalam *cavity* dengan waktu, tekanan, temperatur, dan kepekatan tertentu.

Bagian -bagian injection unit dan fungsinya:

- 1) Motor berfungsi untuk menggerakkan *screw* pada *barrel* dengan *unit gear* untuk memperkecil pembebanan.
- 2) *Cylinder Screw Ram* berfungsi untuk mempermudah gerakan *screw* dengan menggunakan *momen inersia* sekaligus menjaga putaran *screw* tetap konstan.
- 3) *Hopper* berfungsi sebagai tempat material plastik sebelum masuk ke *barrel*.
- 4) *Barrel* adalah tempat *screw* dan aliran plastik ketika dipanasi oleh *heater*.
- 5) *Screw* berfungsi untuk mengalirkan plastik dari *hopper* ke *nozzle*.

- 6) *Nonreturn Valve* berfungsi untuk menjaga aliran plastik yang telah meleleh agar tidak kembali saat *screw* berhenti berputar.

2.1.3 Parameter berpengaruh injeksi molding

Untuk memperoleh benda cetak dengan kualitas hasil yang optimal, perlu mengatur beberapa parameter yang mempengaruhi jalannya proses produksi tersebut. Parameter-parameter suatu proses tentu saja ada yang berperan sedikit dan adapula yang mempunyai peran signifikan dalam hasil produksi yang diinginkan. Biasanya orang perlu melakukan beberapa kali percobaan hingga ditemukan parameter-parameter apa saja yang cukup berpengaruh terhadap produk akhir benda cetak.

- a. Temperatur Leleh (*Melt Temperature*)

Temperatur leleh adalah batas temperatur dimana bahan plastik mulai meleleh kalau diberikan energi panas. Pada pelelehan plastik ini perlu diperhatikan jenis material plastik yang dilelehkan, karakteristik mesin cetakan, *shot size* (berat material dalam sekali injeksi) yang akan diekstrusikan.

- b. Waktu Tahan (*Holding Time*)

Waktu tahan adalah waktu yang diukur dari saat temperatur leleh yang di-*set* telah tercapai hingga keseluruhan bahan plastik yang ada dalam tabung pemanas benar-benar telah meleleh semuanya. Hal ini dikarenakan sifat rambatan panas yang memerlukan waktu untuk merambat ke seluruh bagian yang ingin dipanaskan.

- c. Tekanan Tahan (*Holding Pressure*)

Tekanan tahan adalah tekanan yang diperlukan untuk memberikan tekanan pada piston yang mendorong plastik yang telah leleh setelah proses *injection pressure* selesai. Pengaturan *holding pressure* bertujuan untuk meyakinkan bahwa bahan plastik telah benar-benar mengisi ke seluruh rongga cetak.

- d. Temperatur Cetakan (*Mold Temperature*)

Temperatur cetakan yaitu temperatur awal cetakan sebelum dituangi bahan plastik yang meleleh. Pengaturan temperatur ini melalui cairan yang dialirkan kedalam cetakan. Hermawan (2009)

2.2 Cacat Produk

2.2.1 Short Shot

Short Shot adalah suatu kondisi dimana, plastik leleh yang akan diinjeksikan kedalam *cavity* tidak mencapai kapasitas yang ideal atau sesuai pengaturan mesin. Sehingga plastik yang diinjeksikan kedalam *cavity* mengeras terlebih dahulu sebelum memenuhi *cavity*.

a. Penyebab *Short Shot*:

- 1) Karakteristik *viscosity* dan fluida daripada plastik
- 2) Design cetakan (mis: *desain gate, desain keberadaan venting udara, konstruksi bushing & bosh etc*)
- 3) Kondisi *moulding*
- 4) *Performa moulding* dan mesin itu sendiri

b. Pemecahan masalah:

- 1) *Supply* material harus selalu berkelanjutan jangan sampai ada jeda
- 2) Meningkatkan kecepatan injeksi material
- 3) Meningkatkan suhu material sesuai dengan batasannya
- 4) Mengganti fluiditas material dengan yang lebih baik
- 5) Menstandarisasi ketebalan dinding pada tiap-tiap *cavity*

2.2.2 Flasing

Flashing adalah jenis *minor defect* pada material, artinya material masih bisa dikatakan ok tetapi harus dilakukan pembersihan pada produk. *Flashing* sendiri berarti terdapat material lebih yang ikut membeku di pinggir-pinggir produk.

a. Penyebab *Flashing*:

- 1) Kurangnya *pressure clamping mold* pada mesinnya
- 2) kerapatan *mold* pada pertemuan antara 2 *plate* dan pada saat injeksi material
- 3) Desain produk yang kurang sesuai dengan *mold*
- 4) *Viscositas* dari material yang kurang
- 5) Umur daripada *mold* itu sendiri yang sudah memasuki titik kritis

b. Pemecahan masalah:

- 1) Jika masalahnya merujuk pada *viskositas* material, bisa diganti dengan *grade* yang memiliki laju aliran yang lebih baik. Atau bisa juga dengan mengurangi temperatur plastik
- 2) Jika masalahnya merujuk pada keausan *mold*, bisa dilakukan *repair* pada *mold*.
- 3) Jika masalahnya terjadi pada *pressure clamping*, dapat mensetting ulang *preesure clamping*.
- 4) Mengurangi *injection pressure* dan *injection speed*
- 5) Turunkan *holding pressure* dan *temperature silinder*
- 6) *Cylce time* jangan terlalu panjang, *cushion* jangan terlalu banyak

2.2.3 Sink Mark

Sink mark merupakan cekungan atau lengkungan yang terjadi pada permukaan luar pada komponen yang dibentuk. Terjadinya perbedaan ketebalan pada permukaan benda juga dapat disebut sebagai *sink mark*. *Sink* bisa juga bukan termasuk *deffect*. Fenomena ini sering menjadi masalah sebagai cacat tetapi masih tergantung pada kualitas produk. Fenomena *sink mark* tergantung daripada *shringkage* daripada plastik sendiri, dalam hal tertentu fenomena ini terjadi selama masa transisi dari kondisi cair pada *injector* dengan kondisi yang *solid* pada saat pendinginan.

a. Penyebab *sink mark*:

- 1) Perbedaan ketebalan produk tetapi bukan dari desain produknya
- 2) Perbedaan *temperature core* dan *cavity*
- 3) *Loading time* material terlalu cepat
- 4) *Temperature resin, temperature die, injection speed* terlalu tinggi atau rendah
- 5) Kurangnya kemampuan pendinginan dari die itu sendiri
- 6) Peningkatan suhu karena putaran *screw* terlalu cepat.

b. Pemecahan masalah:

- 1) Menstandarisasi ketebalan material
- 2) mengatur ulang *temperature* antara *core* dengan *cavity*

- 3) Mengurangi *loading time* material sesuai dengan *viskositas* material yang digunakan
- 4) Mereduksi *temperature die*, *temperature resin*, dan *injection speed*
- 5) Menggunakan *die* dengan konduktivitas panas yang lebih baik
- 6) Mengurangi putaran *screw* agar suhunya tidak terlalu tinggi

2.2.4 *Colour Streaks*

Fenomena colour streaks terjadi karena adanya campuran 2 warna atau lebih pada suatu produk yang menyebabkan warna produk tersebut menjadi belang.

a. Penyebab *colour streks*:

- 1) Material tidak bercampur dengan baik pada saat proses *mixing*
- 2) Masih ada sisa material lama pada *nozzle* sebelum penggantian material yang baru
- 3) Kontaminasi material lainnya misal PP dengan ABS.

b. Pemecahan masalah:

- 1) Pastikan *nozzle* telah bersih dari material sebelumnya
- 2) Keringkan material sebelumnya

2.2.5 *Bubbles*

Bubbles bisa dibilang juga sebagai melepuh atau gelembung udara yang terperangkap dalam produk. Biasanya terjadi pada saat proses injeksi material kedalam *cavity*. Udara tidak sempat keluar melalui *airvent* pada saat material plastik memasuki *cavity*. Bisa juga oleh gas yang tercampur dengan material cair dalam *cylinder*.

a. Penyebab *bubbles*:

- 1) Gas yang masih terperangkap didalam *cylinder*
- 2) Udara yang masih terjebak didalam *cavity* yang belum sempat keluar melalui *air vent*

b. Pemecahan masalah:

- 1) Pastikan material sudah melalui proses pengeringan yang benar

- 2) Naikkan *screw back pressure* selama proses *plasticizing* untuk memaksa gas keluar dari *cylinder*
- 3) Perbaiki sistem ventilasi gas pada mold agar gas tidak terjebak didalam produk
- 4) Turunkan *speed injection* untuk memberi waktu agar gas keluar

2.2.6 *Jetting*

Garis semburan dipermukaan produk dimulai dari sisi *gate point* dikarenakan aliran *turbulen* material. Plastik yang dengan suhu yang relatif rendah diinjeksikan kedalam *nozzle* selama tahap awal *molding*, setelah bersentuhan dengan cetakan, material ini menjadi sangat kental. Kemudian plastik panas terus diinjeksikan kedalam cetakan, material dengan suhu yang lebih rendah tadi terdorong terus kedalam dan meninggalkan bekas aliran.

a. Penyebab *jetting*:

- 1) Temperatur cetakan terlalu rendah sehingga material yang diinjeksikan menjadi dingin dengan cepat
- 2) Ukuran *gate* yang terlalu kecil sehingga *speed* material yang diinjeksikan menjadi cukup cepat
- 3) Temperatur material yang terlalu rendah dan *viskositas* material menjadi tinggi akibatnya resistansi terhadap material menjadi besar

b. Pemecahan masalah:

- 1) Kurangi *injection speed* dan naikan *temperatur mold*
- 2) Tingkatkan *compression screw* dan tingkatkan ukuran *gate*
- 3) Jika mungkin pindahkan posisi *gate* sehingga pada saat material pertama masuk tidak ada rintangan.

2.2.7 *Black Spot*

Black spot atau bintik hitam atau goresan pada permukaan produk, biasanya disebabkan oleh kerusakan *thermal*.

a. Penyebab *black spot*:

- 1) Material sisa yang terjebak didalam *heater*
- 2) Kontaminasi produk oleh zat yang tidak diperlukan

- 3) Waktu tinggal produk terlalu lama, *shot size* terlalu kecil
 - 4) Kecepatan *screw* terlalu tinggi sehingga menyebabkan *degradasi* material
 - 5) Terlalu banyak konten *regrind* pada material
- b. Pemecahan masalah:
- 1) Periksa material untuk kemungkinan adanya kontaminasi
 - 2) Kurangi melt temperatur dan *overall cycletime*
 - 3) Bersihkan *screw* dan *barrel* serta kurangi *screw speed*
 - 4) Material mungkin kurang tahan terhadap *degradasi thermal* mungkin bisa menggunakan material yang lebih stabil terhadap *thermal*
 - 5) Pastikan kelurusan antara *nozzle* mesin dan *mold sprue* benar

2.2.8 *Warping*

Warping atau *twisting* digunakan untuk menjelaskan bagian dari produk yang bengkok atau melengkung, biasanya disebabkan karena ketidakrataan distribusi tekanan pada produk.

- a. Faktor-faktor penyebab:
- 1) Perbedaan antara *shrinkage* dan *cooling time* yang tergantung pada kontraksi kedua permukaan dan ketebalan komponen dari hasil distribusi *temperature mold*
 - 2) Ketidak-samaan distribusi tekanan pada produk
 - 3) *Injection pressure* terlalu tinggi atau terlalu rendah dan *cooling* terlalu pendek.
 - 4) Kurangnya *clamping force* atau kurangnya kemampuan mensetting *clamping force* yang ideal.
 - 5) Kurangnya kekakuan struktural produk.
 - 6) Aliran dan volume pendingin yang kurang serta kurangnya kinerja distribusi panas *mold*
- b. Contoh solusi:
- 1) Tambahkan *cooling time* atau kurangi *pressure*, serta periksa sistem pendinginan *mold* atau perbaiki *mold*.
 - 2) Periksa *gate* untuk lokasi yang tepat dan ukuran yang memadai.

- 3) Periksa mekanisme pelepasan *mold* untuk desain dan pengoperasian yang sesuai

2.3 Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) termasuk kelompok *engineering thermoplastic* yang berisi 3 monomer pembentuk. *Akrilonitril* bersifat tahan terhadap bahan kimia dan stabil terhadap panas. *Butadiene* memberi perbaikan terhadap sifat ketahanan pukul dan sifat liat (*toughness*). Sedangkan *styrene* menjamin kekakuan (*rigidity*) dan mudah diproses. Beberapa grade ABS ada juga yang mempunyai karakteristik yang bervariasi, dari kilap tinggi sampai rendah dan dari yang mempunyai *impact resistance* tinggi sampai rendah. Berbagai sifat lebih lanjut juga dapat diperoleh dengan penambahan aditif sehingga diperoleh grade ABS yang bersifat menghambat nyala api, transparan, tahan panas tinggi tahan terhadap sinar UV, dll. *Temperature* leleh proses plastik ABS 180-240 0C. Mujiarto (2005)

ABS dapat diproses dengan teknik cetak *injeksi*, *ekstrusi*, *thermoforming*, cetak tiup, *roto moulding* dan *cetak kompresi*. ABS bersifat *higroskopis*, oleh karena itu harus dikeringkan dulu sebelum proses pelelehan. Mujiarto (2005).

Penggunaannya:

- 1) Peralatan karena keunggulan sifat-sifatnya maka banyak digunakan membuat peralatan seperti: *hair dryer*, korek api gas, telepon, *intercom*, *body* dan komponen mesin ketik elektronik maupun mekanik, mesin hitung, dll.
- 2) Otomotif karena sifatnya yang ringan, tidak berkarat, tahan minyak bumi, maka ABS digunakan untuk *radiator grill*, rumah-rumah lampu, *emblem*, *horn grill*, tempat kaca spion, dll.
- 3) Barang-barang tahan lama: ABS dengan grade tahan nyala api digunakan untuk cabinet TV, kotak penutup video, Grade tahan pukul pada suhu rendah dan tahan *fluorocarbon* dapat digunakan untuk pintu dan *body kulkas*, komponen AC, kotak kamera, dudukan kipas angin meja, dll.
- 4) Bangunan dan perumahan: dudukan kloset, bak air, *frame kaca*, *cabinet*, kran air, gantungan handuk, saringan, dll.

- 5) Elektroplated ABS: regulator knob, pegangan pintu kulkas, pegangan payung, spare parts kendaraan bermotor, tutup botol, dll

2.4 Mekanika Fluida

Zat yang tersebar di alam dibedakan dalam tiga keadaan (*fase*), yaitu *fase* padat, cair dan gas. Karena *fase* cair dan gas memiliki karakter tidak mempertahankan sesuatu bentuk yang tetap, maka keduanya mempunyai kemampuan untuk mengalir. Fluida adalah zat-zat yang mampu mengalir dan menyesuaikan diri dengan bentuk tempatnya. Salah satu ciri fluida adalah jarak molekulnya tidak tetap, ini disebabkan oleh lemahnya ikatan antara molekul penyusunnya.

Mekanika fluida adalah cabang ilmu pengetahuan yang mengkaji tentang perilaku dari zat cair dan gas dalam keadaan diam ataupun bergerak. Pada mekanika fluida, dipelajari perilaku fluida dalam keadaan diam (statistika fluida), dimana tidak adanya tegangan geser yang bekerja pada partikel fluida tersebut, dan fluida dalam keadaan bergerak (dinamika fluida) (Fadhili, 2016).

2.4.1 Fluida Statis dan Dinamis

a. Fluida Statis

Fluida statis adalah fluida yang tidak bergerak atau dalam keadaan diam, misalnya air dalam gelas. Dalam fluida statis kita mempelajari hukum-hukum dasar antara lain mengenai tekanan *hidrostatik*, hukum Archimedes, tegangan permukaan dan kapilaritas.

b. Fluida Dinamis

Dinamika fluida adalah subdisiplin dari mekanika fluida yang mempelajari fluida bergerak. Fluida terutama cairan dan gas. Penyelesaian dari masalah dinamika fluida biasanya melibatkan perhitungan banyak sifat dari fluida, seperti kecepatan, kepadatan, tekanan, dan suhu sebagai fungsi ruang dan waktu. Disiplin ini memiliki beberapa subdisiplin termasuk aerodinamika (penelitian gas) dan hidrodinamika (penelitian cairan). Dinamika fluida memiliki aplikasi yang luas. Contohnya, dinamika fluida digunakan dalam menghitung gaya dan momen pada

pesawat, *mass flow rate* dari *petroleum* dalam jalur pipa dan perkiraan pola cuaca. (Fadhili, 2016).

2.4.2 Sifat Dasar Fluida

Fluida merupakan suatu zat yang dalam keadaan setimbang tak dapat menahan gaya atau tegangan geser. Ketahanan fluida terhadap perubahan bentuk sangat kecil sehingga fluida dapat dengan mudah mengikuti bentuk ruang.

Berdasarkan wujudnya, fluida dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

- a. Fluida gas, merupakan fluida dengan partikel yang renggang dimana gaya tarik antara molekul sejenis relatif lemah dan sangat ringan sehingga dapat melayang dengan bebas serta volumenya tidak menentu.
- b. Fluida cair, merupakan fluida dengan partikel yang rapat dimana gaya tarik antara molekul sejenisnya sangat kuat dan mempunyai permukaan bebas serta cenderung untuk mempertahankan volumenya.

Untuk memahami segala hal tentang aliran fluida, maka terlebih dahulu harus mengetahui beberapa sifat dasar fluida. Sifat-sifat dasar fluida tersebut yaitu: berat jenis, kerapatan, tekanan, temperatur, kekentalan.

- 1) Berat jenis (*specific weight*) dari suatu fluida, dilambangkan dengan (γ), didefinisikan sebagai berat tiap satuan volume.
- 2) Kerapatan suatu fluida didefinisikan sebagai massa tiap satuan volume pada suatu temperatur dan tekanan tertentu. Kerapatan dinyatakan dengan ρ (adalah huruf kecil Yunani yang dibaca "rho"). Kerapatan fluida bervariasi tergantung jenis fluidanya. Untuk fluida gas, perubahan temperatur dan tekanan sangat mempengaruhi kerapatan gas. Untuk fluida cairan pengaruh keduanya adalah kecil. Jika kerapatan fluida tidak terpengaruh oleh perubahan temperatur maupun tekanan dinamakan fluida *incompressible* atau fluida tak mampu mampat.
- 3) Tekanan didefinisikan sebagai besarnya gaya (F) pada tiap satuan luas bidang yang dikenainya (A). Apabila suatu zat (padat, cair, dan gas) menerima gaya yang bekerja secara tegak lurus terhadap luas permukaan zat tersebut. Satuan SI (Satuan Internasional) untuk tekanan adalah Pa (Pascal) turunan dari Newton/m². Dalam teknik memang lebih banyak digunakan satuan tekanan lain seperti psi

(*pound per square inch*), bar, atm, kgf/m² atau dalam ketinggian kolom zat cair seperti cmHg.

4) Kekentalan diartikan sebagai tahanan internal terhadap aliran, dan beberapa ahli juga mendefinisikan sebagai gesekan dari fluida. Kekentalan adalah nilai yang diukur dari tahanan fluida yang berubah bentuk karena tegangan geser maupun tegangan tarik.

Pengertian yang paling sederhana adalah bahwa semakin kecil nilai viskositas maka semakin mudah suatu fluida untuk bergerak. Fluida ideal adalah fluida yang tidak memiliki tahanan gesekan terhadap tegangan geser, atau biasanya disebut juga dengan inviscid fluid, sedangkan fluida normal selalu mempunyai tahanan gesekan terhadap tegangan geser, yang disebut dengan viskos fluid.

2.5 Aliran Fluida

2.5.1 Klasifikasi Aliran

Jenis aliran dapat dibedakan sebagai berikut:

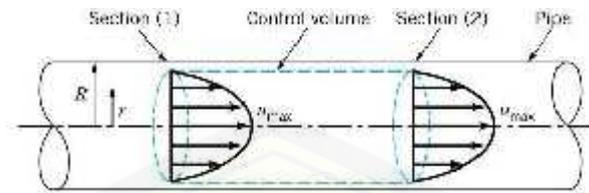
- a. Aliran Tunak (*steady*) adalah Suatu aliran dimana kecepatannya tidak terpengaruh oleh perubahan waktu, sehingga kecepatan konstan pada setiap titik.
- b. Aliran Tidak Tunak (*unsteady*) Suatu aliran dimana terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu.

2.5.2 Kecepatan dan Kapasitas Aliran Fluida

Penentuan kecepatan di sejumlah titik pada suatu penampang memungkinkan untuk membantu dalam menentukan besarnya kapasitas aliran sehingga pengukuran kecepatan merupakan fase yang sangat penting dalam menganalisa suatu aliran fluida. Kecepatan dapat diperoleh dengan melakukan pengukuran terhadap waktu yang dibutuhkan suatu partikel yang dikenali untuk bergerak sepanjang jarak yang telah ditentukan. (Fadhili, 2016).

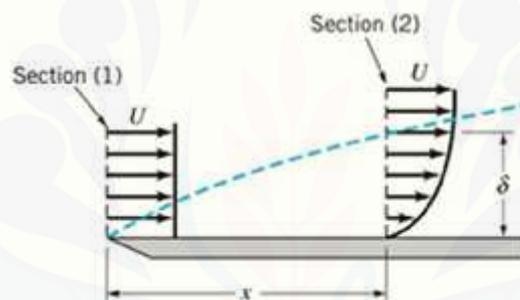
Besarnya kecepatan aliran fluida pada suatu pipa mendekati nol pada dinding pipa dan mencapai maksimum pada tengah-tengah pipa. Kecepatan biasanya sudah cukup untuk menempatkan kekeliruan yang tidak serius dalam

masalah aliran fluida sehingga penggunaan kecepatan sesungguhnya adalah pada penampang aliran.



Gambar 2. 2 Profil kecepatan pada saluran tertutup

Besarnya kecepatan akan mempengaruhi besarnya fluida yang mengalir dalam suatu pipa. Jumlah dari aliran fluida mungkin dinyatakan sebagai volume, berat atau massa fluida dengan masing-masing laju aliran ditunjukkan sebagai laju aliran volume (m^3/s), laju aliran berat (N/s) dan laju aliran massa (kg/s).



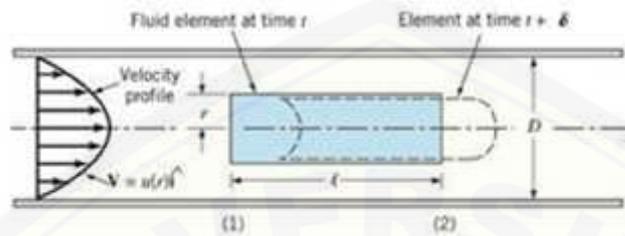
Gambar 2. 3 Profil kecepatan pada saluran terbuka

2.5.3 Aliran Fluida Dalam Pipa

Fluida yang bergerak dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa katagori. Apakah alirannya *steady* atau tak *steady*, apakah fluidanya *kompresibel* (dapat mampat) atau *inkompresibel* (tak dapat mampat), apakah fluidanya *viskos* atau non-viskos, atau apakah aliran fluidanya *laminar* atau *turbulen*. Jika fluidanya *steady*, kecepatan partikel fluida terjadi pada setiap titik tetap terhadap waktu. Fluida pada berbagai bagian dapat mengalir dengan laju atau kecepatan yang berbeda, tetapi fluida pada satu lokasi selalu mengalir dengan laju atau kecepatan yang tetap.

Fluida *incompressible* adalah suatu fluida yang tak dapat dimampatkan. Sebagian besar cairan dapat dikatakan sebagai *inkompresibel*. Dengan mudah kita dapat mengatakan bahwa fluida gas adalah fluida *kompresibel*, karena dapat

dimampatkan. Sedangkan fluida *viskos* adalah fluida yang tidak mengalir dengan mudah, seperti madu dan aspal. Sementara itu, fluida tak *viskos* adalah fluida yang mengalir dengan mudah, seperti air. Jenis aliran yang telah di definisikan sebelumnya mempunyai wujud aliran sebagai berikut:



Gambar 2. 4 Profil aliran fluida pada pipa

2.5.4 Aliran Fluida Pada Saluran Dengan Pembesaran Mendadak

Pada penelitian kali ini permasalahan utama yang dihadapi adalah mendapatkan kestabilan api pembakaran dan memaksimalkan output panas.

Banyak dari sistem perpipaan memiliki berbagai macam bagian transisi dimana diameter pipa berubah dari satu ukuran ke ukuran lainnya. Perubahan seperti itu dapat terjadi secara mendadak atau secara halus melalui beberapa jenis bagian perubahan luas. Setiap perubahan luas aliran tersebut akan menimbulkan kerugian- kerugian yang tidak akan diperhitungkan. Dalam banyak hal, aliran di dalam pembesaran mendadak serupa dengan aliran sisi keluar saluran di dalam pipa pada umumnya.

Pada sistem pembesaran mendadak, fluida meninggalkan pipa yang lebih kecil yang pada awalnya membentuk struktur seperti jet sewaktu memasuki pipa yang lebih besar. Setelah jarak beberapa dari diameter pembesaran, jet panah menjadi tersebar keseluruh penampang pipa, dan aliran berkembang penuh terbentuk kembali.

2.6 Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah metode penghitungan, memprediksi, dan pendekatan aliran fluida secara numerik dengan bantuan komputer. Aliran fluida dalam kehidupan nyata memiliki banyak sekali jenis dan

karakteristik tertentu yang begitu kompleks, CFD melakukan pendekatan dengan metode numerasi serta menggunakan persamaan-persamaan fluida.

CFD merupakan metode penghitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembagiannya. Prinsipnya adalah suatu ruang yang berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi-bagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan meshing. Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol penghitungan yang akan dilakukan oleh aplikasi atau software.

Kontrol-kontrol penghitungan ini beserta penghitungan lainnya merupakan pembagian ruang yang disebut meshing. Nantinya, pada setiap titik kontrol penghitungan akan dilakukan penghitungan oleh aplikasi dengan batasan *boundary condition* yang telah ditentukan. (Fadhili, 2016).

2.6.1 Sejarah CFD

Sejarah CFD berawal pada tahun 60-an dan mulai terkenal pada tahun 70-an, awalnya pemakaian konsep CFD hanya digunakan untuk aliran fluida dan reaksi kimia, namun seiring dengan berkembangnya industri di tahun 90-an membuat CFD makin dibutuhkan pada berbagai aplikasi lain. Contohnya sekarang ini banyak sekali paket-paket software CAD (*Computer Aided Design*) menyertakan konsep CFD yang dipakai untuk menganalisa *stress* yang terjadi pada desain yang dibuat. Pemakaian CFD secara umum dipakai untuk memprediksi.

- a. Aliran dan panas
- b. Transfer massa
- c. Perubahan fasa seperti pada proses melting, pengembunan dan pendidihan
- d. Reaksi kimia seperti pembakaran
- e. Gerakan mekanis seperti piston dan fan
- f. Tegangan dan tumpuan pada benda solid

CFD adalah penghitungan yang menghususkan pada fluida, mulai dari aliran fluida, heat transfer dan reaksi kimia yang terjadi pada fluida. Atas prinsip-prinsip dasar mekanika fluida, konservasi energi, momentum, dan massa,

penghitungan dengan CFD dapat dilakukan. Secara sederhana proses penghitungan yang dilakukan oleh aplikasi CFD adalah dengan kontrol-kontrol penghitungan yang telah dilakukan maka kontrol penghitungan tersebut akan dilibatkan dengan memanfaatkan persamaan-persamaan yang terlibat.

Persamaan-persamaan ini adalah persamaan yang dibangkitkan dengan memasukkan parameter apa saja yang terlibat dalam domain. Misalnya ketika suatu model yang akan dianalisa melibatkan temperatur berarti model tersebut melibatkan persamaan energi atau konservasi dari energi tersebut (Fadhili, 2016).

2.6.2 Proses Perhitungan CFD

a. *Preprocessor*

Preprocessor adalah tahap dimana data diinput mulai dari pendefinisian domain serta pendefinisian kondisi batas atau *boundary condition*. Ditahap itu juga sebuah benda atau ruangan yang akan analisa dibagi-bagi dengan jumlah *grid* tertentu atau sering disebut juga dengan *meshing*. Langkah-langkah pengguna dalam tahap pre-processing yaitu:

- 1) Definisi *geometri region* analisa dengan *domain komputasional*
- 2) Pembuatan *grid* yaitu pemecahan domain menjadi beberapa sub domain yang lebih kecil dan tidak berlebihan
- 3) Pemilihan fenomena fisik dan kimia yang perlu dimodelkan
- 4) Definisi *properties* fluida
- 5) Spesikasikan kondisi batas yang sesuai pada sel-sel yang berhimpit dengan batas domain.

Solusi sebuah masalah fluida (kecepatan, tekanan, temperatur dsb) didefinisikan di setiap nodal di dalam masing-masing sel. Akurasi sebuah solusi CFD ditentukan oleh jumlah sel dalam *grid*. Secara umum, semakin banyak jumlah sel semakin baik akurasi solusi. Baik akurasi solusi dan kerja *hardware* komputer serta lama kalkulasi tergantung kepada halusnya/rapatnya *grid*. Kemampuan teknik *self adaptive meshing* telah membantu pengembangan CFD guna otomatisasi penghalusan *grid* untuk area dengan variasi yang padat. *Pre-prosesor* hingga saat ini juga membantu kita mengakses data *library properties* fluida umum dan fasilitas

memasukkan model proses fisikal dan kimikal (model turbulence, perpindahan kalor radiatif, pembakaran) bersama persamaan aliran fluida utama.

b. *Processor*

Pada tahap ini dilakukan proses penghitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya penghitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Penghitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap volume kontrol dengan proses integrasi persamaan *diskrit*.

c. *Postprocessor*

Tahap akhir merupakan tahap *postprocessor* dimana hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola-pola warna tertentu. Hasil penghitungan modul solver berupa nilai-nilai numerik (angka-angka) variabel-variabel dasar aliran seperti komponen-komponen kecepatan, tekanan, temperatur dan fraksi-fraksi masa.

Dalam tahap *post-processor* nilai-nilai numerik ini diolah agar pengguna dapat dengan mudah membaca dan menganalisis hasil-hasil penghitungan CFD. Hasil-hasil ini dapat disajikan dalam bentuk grafis-grafis ataupun *kontur-kontur* distribusi parameter-parameter aliran fluida (Fadhili, 2016).

2.7 Metode Numerik

Pada dasarnya CFD mengganti persamaan-persamaan diferensial parsial dari kontinuitas, momentum, dan energi dengan persamaan-persamaan aljabar. Persamaan yang asalnya kontinum (memiliki jumlah sel tak terhingga) dirubah menjadi model diskrit (jumlah sel terhingga).

Ada tiga teknik solusi numerik (*metode diskritisasi*) aliran yang berbeda, yaitu *finite difference*, *finite element* dan *finite volume methods*. Metode diskritisasi dipilih pada umumnya untuk menentukan kestabilan dari program numerik/CFD yang dibuat atau program *software* yang ada. Beberapa metode diskritisasi yang digunakan untuk memecahkan persamaan-persamaan diferensial parsial, diantaranya adalah:

2.7.1 Metode Beda Hingga

Dalam metode ini area aliran dipisahkan menjadi satu *set poin grid* dan fungsi kontinu (kecepatan, tekanan, dan lainnya) didekati dengan nilai-nilai diskrit dan fungsi-fungsi ini dihitung pada titik-titik grid. Turunan dari fungsi didekati dengan menggunakan perbedaan antara nilai fungsi pada titik lokal *grid* dibagi dengan jarak *grid*.

2.7.2 Metode Elemen Hingga

Metode ini membagi masalah besar menjadi lebih kecil dan sederhana yang disebut elemen hingga. Persamaan sederhana yang memodelkan seluruh kasus kemudian disusun menjadi sebuah sistem persamaan yang lebih luas. Persamaan konservasi kekekalan massa, momentum, dan energi ditulis dalam bentuk yang tepat untuk setiap elemen, dan hasil dari set persamaan aljabar untuk bidang aliran diselesaikan secara numerik.

2.7.3 Metode Volume Hingga

Finite volume method adalah metode untuk mewakili dan mengevaluasi persamaan diferensial parsial dalam bentuk aljabar. Metode ini sama seperti metode beda hingga dan metode elemen hingga, nilai-nilai dihitung di tempat terpisah pada geometri yang di *mesh*. Metode ini mengacu pada volume kecil disekitar node pada *mesh*. Dalam metode ini, *volume integral* dalam persamaan diferensial yang memiliki istilah divergensi dikonversi ke *surface integrals* menggunakan teori divergensi.

2.8 Penelitian Sebelumnya

Penelitian tentang minimalisasi cacat dengan pengaturan tekanan terhadap kualitas produk pada proses injection molding dengan menggunakan simulasi, didapatkan bahwa tekanan injeksi maksimum hanya berpengaruh pada temperatur leleh plastik yang rendah. Kurangnya tekanan injeksi, dapat mengakibatkan terjadinya shot shot dan crack. Selain dengan menambahkan tekanan injeksi, cacat dapat dikurangi dengan menaikkan temperatur leleh plastik. Pada temperature leleh

yang tinggi, kenaikan tekanan injeksi menjadi tidak berarti. Jenis dan luas daerah cacatnya tidak berkurang ketika tekanan injeksi dinaikkan. Jenis cacat yang timbul adalah crack akibat *shear stress* yang berlebihan. (Sugondo dkk, 2007)

Ridwan dkk (2002) dalam penelitiannya analisa aliran *vortex* pada pembesaran saluran pipa dengan teknologi *computational fluid dynamics* dengan hasil pusat aliran *vortex* yang terjadi pada daerah pembesaran mendadak akan bergerak kehilir jika diameter (D_2) akan lebih di perbesar, wilayah medan aliran yang berpusat (*vortex*) akan semakin luas seiring dengan besarnya perbandingan diameter. Semakin besar perbandingan diameter pipa besar dan kecil maka kehilangan *energy* akan bertambah besar.

2.9 Hipotesa

Penggunaan CFD pada penelitian ini dimaksudkan agar dapat mensimulasikan aliran fluida sepanjang barel. Simulasi ini untuk melihat aliran fluida pada barel dengan memperkirakan bahwa kecepatan aliran fluida sangat dipengaruhi oleh *viscosity* fluida tersebut. Semakin rendah nilai *viscosity* maka semakin cepat aliran fluida mengalir. Sehingga dengan berkurangnya nilai *viscosity* maka akan menambah kecepatan aliran fluida yang dipengaruhi oleh berkurangnya gaya gesek yang terjadi pada fluida tersebut.

BAB 3. METODOLOGI

3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode simulasi yang diproses secara numerik dengan menggunakan *software computational fluid dynamics* (CFD) komersial selanjutnya diamati dan diambil suatu kesimpulan.

3.2 Waktu Penelitian dan Tempat Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini adalah pada bulan Maret sampai dengan bulan desember 2017. Sedangkan penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Terapan Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel-variabel penelitian yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi dua jenis yaitu variabel bebas dan variabel terikat.

3.3.1 Variabel Bebas

Variable bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan tidak terpengaruh oleh variabel lain. Untuk jenis-jenis variabel yang divariasikan sebagai variabel bebas adalah:

- a. Suhu yang digunakan adalah *viscosity* yang divariasikan pada material yang akan di injeksikan kedalam molding pada suhu 180⁰C.
- b. Material yang digunakan dalam simulasi berupa fluida yaitu ABS (*Acrylonitrile Butadine Styrene*)
- c. Data yang ditampilkan berupa gambar dan grafik.

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung pada variasi variabel bebas. Berikut merupakan variabel yang dikategorikan dalam variabel terikat yaitu Fenomena kecepatan aliran fluida di sebuah barel.

3.4 Alat dan Bahan

- a. Portable Computer (PC)
- b. Software untuk geometri dan meshing
- c. Software CFD komersial

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Tahapan *Geometry*, *Meshing*, dan *Boundary Type*.

Tahap geometri, meshing, dan pengkondisian batas merupakan tahapan dimana benda kerja yang akan disimulasikan dibuat sesuai dimensi yang telah ditentukan sebelumnya dan ditentukan daerah-daerah kerjanya dalam simulasi.

Tahapan ini diklasifikasikan menjadi beberapa langkah berikut:

- a. Proses *Geometri*
 - 1) Menentukan titik batas (*vertex*) sesuai dimensi yang akan digunakan.
 - 2) Membuat garis tepi (*edge*) sesuai titik batas yang telah dibuat.
 - 3) Menentukan bagian-bagian permukaan (*face*) sesuai daerah kerja pada simulasi.
- b. Proses *Meshing*
 - 1) Menentukan titik *mesh* (*mesh edge*) pada masing-masing daerah kerja sesuai permukaan yang dibentuk pada proses geometri.
 - 2) Membuat permukaan *mesh* (*mesh face*) sesuai titik *mesh* yang telah ditentukan
- c. Proses *Boundary Type*

Menentukan daerah batas sesuai dengan bentuk masukan data dan keluaran hasil simulasi yang diharapkan yaitu input data berupa kecepatan aliran dan output data berupa aliran fluida.
- d. Melakukan penyimpanan data dengan format extensi *.dbs.
- e. Melakukan export data dengan format *.msh agar dapat dibaca pada software CFD.

3.5.2 Tahapan Simulasi dengan *Software* CFD

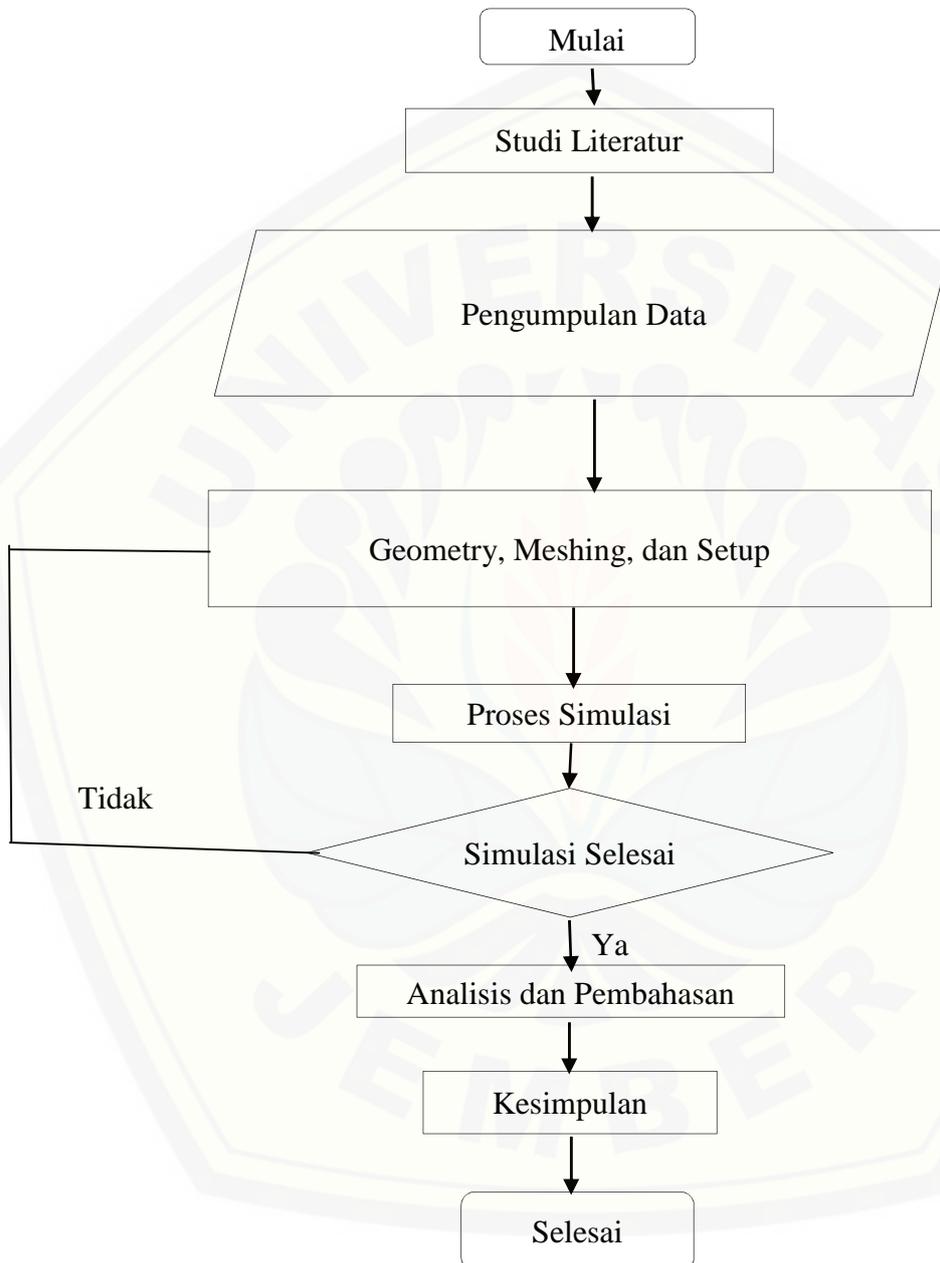
Pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan melakukan perhitungan numerik menggunakan *software* CFD dari data yang telah

ada. Tahap- tahap yang dilaksanakan pada pengolahan data tersebut adalah sebagai berikut:

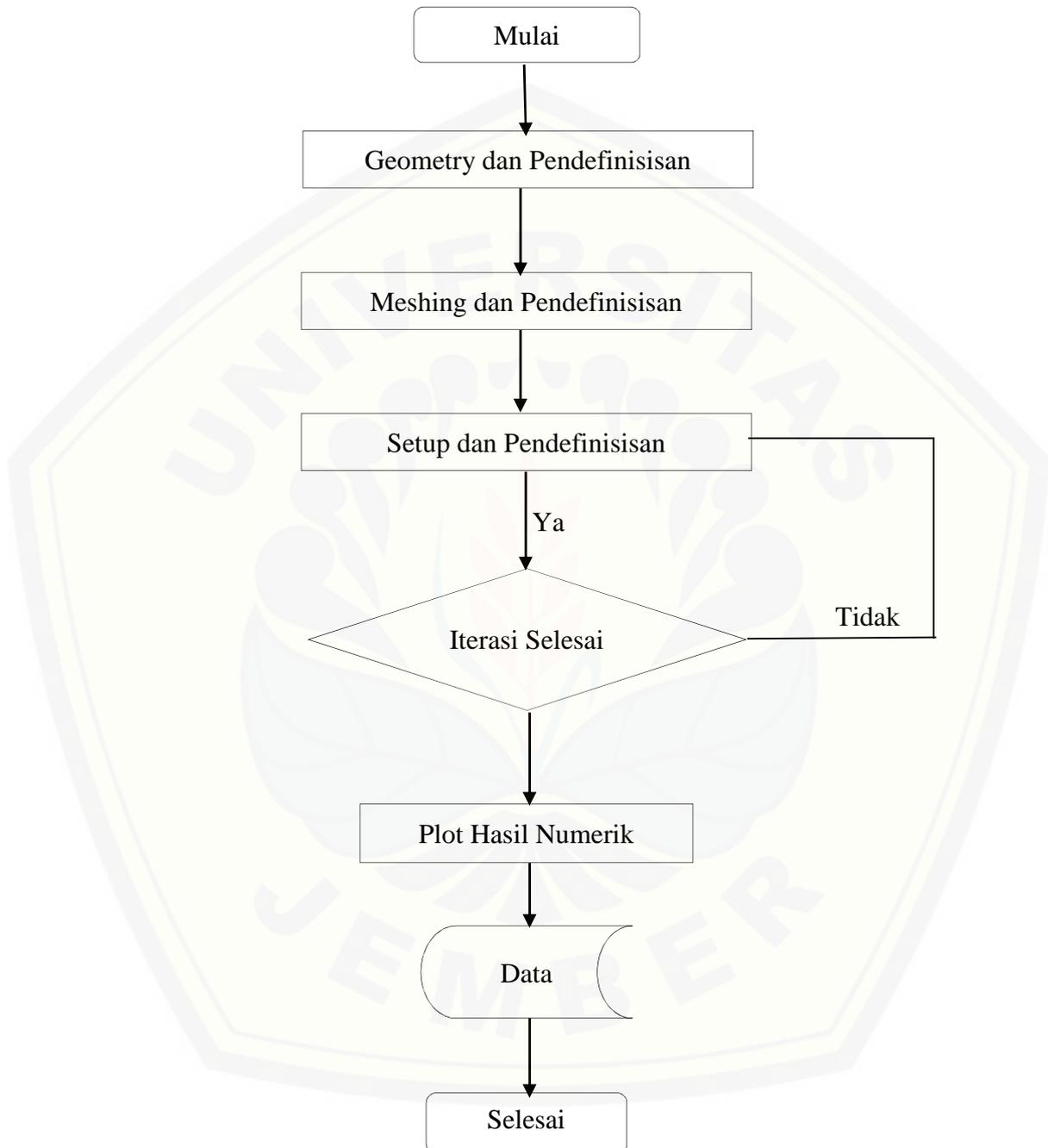
- a. Melakukan pembacaan file *case* untuk *combustor* dengan *extensi *.msh*.
- b. Melakukan pengecekan *grid* untuk menghindari terjadinya kesalahan proses *geometri*.
- c. Melakukan skala pada *software* CFD sesuai dengan dimensi *geometri* yang dibuat.
- d. Menentukan model solver dengan kondisi aliran fluida pada keadaan *steady*
- e. Menentukan jenis perhitungan yang digunakan pada proses simulasi
- f. Menentukan jenis material yang digunakan yaitu ABS
- g. Menentukan daerah kerja (*operating condition*) sesuai dengan data yang telah diinput sebelumnya.
- h. Menentukan kondisi batas (*boundary condition*) dengan masukan data berupa temperatur
- i. Menentukan kontrol solusi sesuai dengan metode perhitungan yang digunakan.
- j. Menentukan jenis monitor dengan *model residual* sesuai jenis benda kerja yang disimulasikan dan model perhitungan yang digunakan.
- k. Melakukan proses iterasi dengan jumlah yang banyak untuk mencegah konvergensi perhitungan terjadi pada jumlah iterasi yang cukup besar.
- l. Menyimpan hasil iterasi dalam bentuk gambar
- m. Melakukan display hasil perhitungan pada simulasi dengan berdasarkan fenomena kecepatan aliran dan disimpan dalam bentuk gambar
- n. Menyimpan data hasil simulasi dalam bentuk case and data
- o. Melakukan analisa dari hasil iterasi dan hasil *display* simulasi yang telah dilakukan
- p. Menentukan kesimpulan yang diperoleh dari analisa data simulasi yang telah dilakukan
- q. Pembuatan laporan akhir

3.6 Diagram Alir

3.6.1 Diagram Alir Langkah Kerja



3.6.2 Diagram Alir Simulasi



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa hasil simulasi yang telah dilaksanakan maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

- a. Pada hasil simulasi kecepatan aliran fluida sangat dipengaruhi oleh kekentalan fluida tersebut dikarenakan kurangnya gaya gesek yang terjadi pada fluida sehingga pada perencanaan proses injeksi molding dapat menentukan seberapa besar *viscosity* yang dibutuhkan atau seberapa cepat aliran yang diperlukan.
- b. Semakin kecil nilai kekentalan suatu fluida maka semakin cepat fluida tersebut mengalir sehingga dapat mempengaruhi hasil produk pada proses injeksi molding dari penentuan *viscosity* material yang akan digunakan.

5.2 Saran

Agar penelitian yang dilakukan dapat bertambah baik untuk peneliti ataupun untuk penelitian selanjutnya maka perlu diberikan beberapa saran diantaranya sebagai berikut:

- a. Gunakan material yang ada dalam aplikasi CFD yang akan digunakan agar hasil simulasi semakin akurat
- b. Usahakan menggunakan aplikasi CFD yang berlisensi
- c. Sebaiknya menggunakan computer yang hardware nya lebih tinggi agar memudahkan dalam proses simulasi
- d. Gunakan metode perhitungan dengan metode lain agar hasil simulasi lebih akurat dan sesuaikan dengan tipe computer yang digunakan

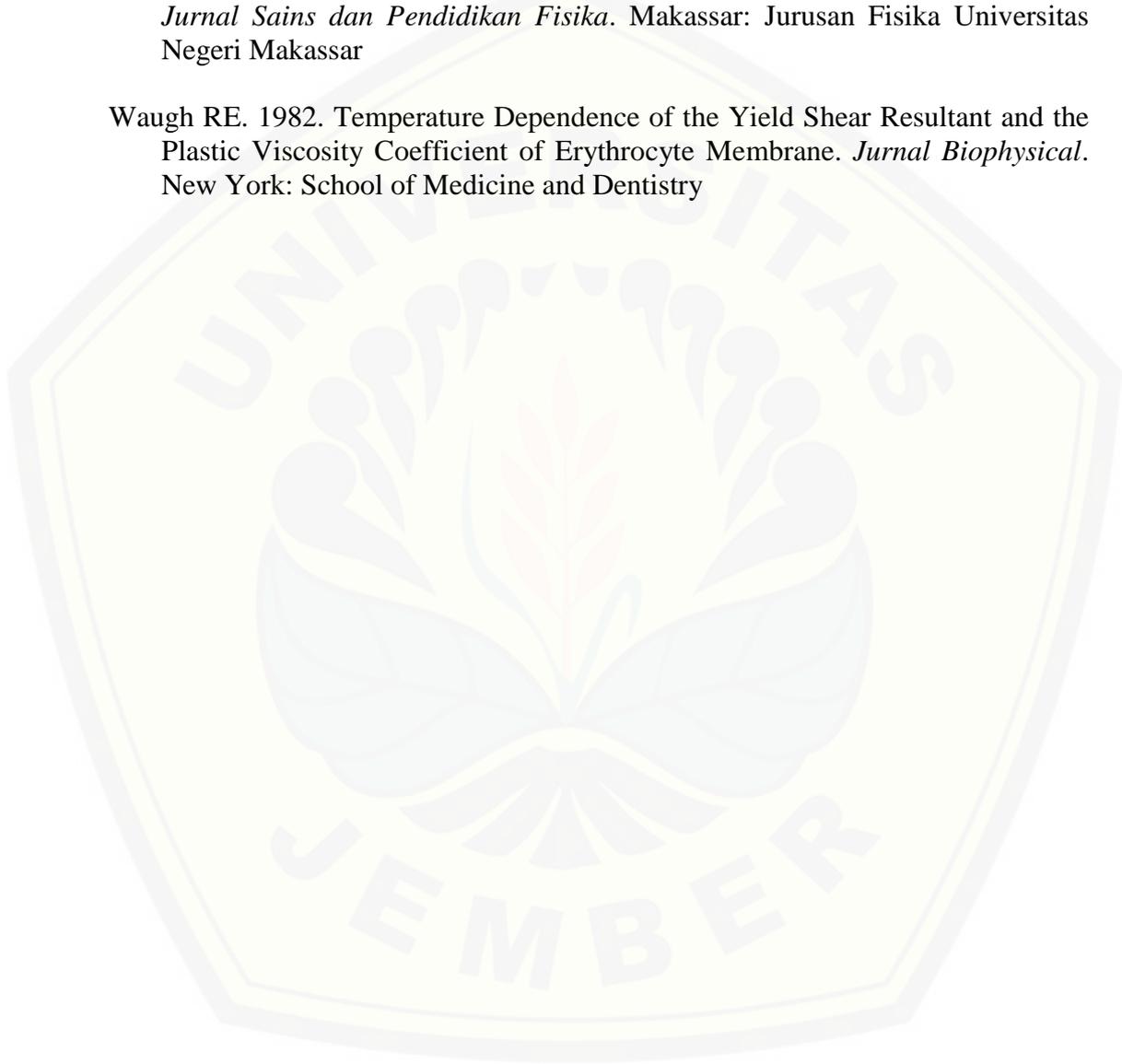
DAFTAR PUSTAKA

- Bedrov D and Smith GD. 2000. Temperature – Dependent Shear Viscosity Coefficient of Octahydro-1,3,5,7-Tetranitro-1,3,5,7-Tetrazocine (HMX): A Molecular Dynamics Simulation Study. *Journal of Chemical Physics*. University of Utah
- Fadhili F. 2016. Studi Numerik Sudden Expansion Meso Combustor Pada Micro Power Generator. *Skripsi*. Jember: Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember
- Febryanto H. 2013. Pengaruh Variasi Temperatur dan Paduan Polypropylene dengan Serbuk Arang Kayu Terhadap Kekuatan Impact pada Proses Injection Moulding. *Skripsi*. Jember Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember
- Ghanbari A, Bhushan L, and Karihaloo. 2009. Prediction of The Plastic Viscosity of Self Compacting Steel Fibre Rennforced. *Jurnal Science Direct*. Condiff University, Condiff CF24 3AA, UK
- Hermawan Y. 2009. Optimasi Cacat Shrinkage Produk Chamimole 120 ml pada Proses Injeksi Molding dengan Metode Respon Surface. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi X*. Jember: Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember
- Krist T, 1991. Hidraulika. Jakarta lembaga antariksa dan penerbangan nasional (LAPAN) erlangga
- Mujiarto I. 2005. Sifat Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif. *Jurnal*. Staf Pengajar AMNI Semarang
- Nurcholis L. 2008. Perhitungan Laju Aliran Fluida pada Jaringan Pipa. *Jurnal UNIMUS*. Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin UNIMUS
- Oyen ML and Cook RF. 2002. Load–Displacement Behavior During Sharp Indentation of Viscous–Elastic–Plastic Materials. *Jurnal Cambridge*. Minnesota: University of Minnesota
- Ridwan, Siswantara IA, dan Supriyanto. 2002. Analisa Aliran Vortex pada Pembesaran Saluran Pipa dengan Teknologi Computational Fluid Dynamics (CFD). *Proceedings Komputer dan Sistem Intelejen (KOMMIT)*. Depok: Teknik Mesin Universitas Gunadarma
- Solanki N. 2017. Rheological Analysis of Intracanzole-Polymer Mixtures to Determine Optimal Melt Extrusion Temperature for Development of Amorphous Solid Dispersion. *Jurnal Science Direct*. St. John’s University

Sugondo A, Anggono W dan Hardianti I.S. 2007. Minimalisasi Cacat Dengan Pengaturan Tekanan Terhadap Kualitas Produk Pada Proses Injeksi Molding Menggunakan Simulasi. *Jurnal Tekno Sim*. Yogyakarta: Teknik Mesin Fakultas Teknik Industry Universitas Kristen Petra

Tiwow VA. 2015. Analisa Aliran Fluida Newtonian Pada Pipa Tidak Horizontal. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*. Makassar: Jurusan Fisika Universitas Negeri Makassar

Waugh RE. 1982. Temperature Dependence of the Yield Shear Resultant and the Plastic Viscosity Coefficient of Erythrocyte Membrane. *Jurnal Biophysical*. New York: School of Medicine and Dentistry



Lampiran

Hasil data perhitungan numerik

- a. Plot numerik pada viscosity 344.20 kg/m-s dengan dengan temperatur 180°C dan kecepatan 0.01 m/s

```
Loading "C:\PROGRA~1\ANSYSI~1\v150\fluent\fluent15.0.7\lib\fl114-64.dmp"
```

```
Welcome to ANSYS Fluent 15.0.7
```

```
Copyright 2014 ANSYS, Inc.. All Rights Reserved.
```

```
Unauthorized use, distribution or duplication is prohibited.
```

```
This product is subject to U.S. laws governing export and re-export.
```

```
For full Legal Notice, see documentation.
```

```
Build Time: Apr 29 2014 13:54:24 Build Id: 10581
```

```
Loading "C:\PROGRA~1\ANSYSI~1\v150\fluent\fluent15.0.7\lib\flprim1119-64.dmp"
```

```
Cleanup script file is D:\Data\Ansys.Fluent\ABS\cleanup-fluent-DESKTOP-3DE8JP0-1932.bat
```

```
> Reading Settings file
```

```
D:\Data\Ansys.Fluent\ABS\ABS180A_files\dp0\FFF\Fluent\FFF.1.set...
```

```
Reading "\"/ gunzip -c
```

```
"D:\Data\Ansys.Fluent\ABS\ABS180A_files\dp0\FFF\Fluent\FFF.1-Setup-Output.cas.gz\""...
```

```
Done.
```

```
151700 quadrilateral cells, zone 3, binary.
```

```
298434 2D interior faces, zone 1, binary.
```

```
2340 2D interior faces, zone 2, binary.
```

```
160 2D velocity-inlet faces, zone 6, binary.
```

```
65 2D pressure-outlet faces, zone 7, binary.
```

```
5027 2D wall faces, zone 8, binary.
```

```
154327 nodes, binary.
```

```
154327 node flags, binary.
```

```
Building...
```

mesh

materials,

interface,

domains,

mixture

zones,

wall

outlet

inlet

interior

interior-surface_body

surface_body Setting *surface_body (mixture)* ... Done.

Setting zone id of surface_body to 3.

Setting zone id of interior-surface_body to 1.

Setting zone id of interior to 2.

Setting zone id of inlet to 6.

Setting zone id of outlet to 7.

Setting zone id of wall to 8.

Done.

Setting surface_body (mixture) ... Done.

Setting interior-surface_body (mixture) ... Done.

Setting interior (mixture) ... Done.

Setting inlet (mixture) ... Done.

Setting outlet (mixture) ... Done.

Setting wall (mixture) ... Done.

Done.

Preparing mesh for display...

Done.

Setting Post Processing and Surfaces information ... Done.

Domain Extents:

x-coordinate: min (m) = 1.198777e-01, max (m) = 1.237067e+00

y-coordinate: min (m) = -9.963099e-02, max (m) = 1.000000e-01

Volume statistics:

minimum volume (m3): 8.573668e-08

maximum volume (m3): 4.052477e-06

total volume (m3): 1.346640e-01

Face area statistics:

minimum face area (m2): 1.885665e-04

maximum face area (m2): 3.161461e-03

Checking mesh.....

Done.

Mesh Quality:

Orthogonal Quality ranges from 0 to 1, where values close to 0 correspond to low quality.

Minimum Orthogonal Quality = 7.18613e-01

Maximum Aspect Ratio = 9.40684e+00

Initialize using the hybrid initialization method.

Checking case topology...

-This case has both inlets & outlets

-Pressure information is not available at the boundaries.

Case will be initialized with constant pressure

iter	scalar-0
1	1.000000e+00
9	7.592789e-08
10	6.260674e-08

hybrid initialization is done.

Writing Settings file

"D:\Data\Ansys.Fluent\ABS\ABS180A_files\dp0\FFF\Fluent\FFF.1.set"...

writing rp variables ... Done.

writing domain variables ... Done.

writing surface_body (type fluid) (mixture) ... Done.

writing interior-surface_body (type interior) (mixture) ... Done.

writing interior (type interior) (mixture) ... Done.

writing inlet (type velocity-inlet) (mixture) ... Done.

writing outlet (type pressure-outlet) (mixture) ... Done.

writing wall (type wall) (mixture) ... Done.

writing zones map name-id ... Done.

<i>iter</i>	<i>continuity</i>	<i>x-velocity</i>	<i>y-velocity</i>	<i>k</i>	<i>omega</i>	<i>time/iter</i>	
1	1.0000e+00	1.1140e-03	1.3036e-03	1.9725e-02	2.8571e+19	0:16:39	999
2	1.0000e+00	5.5892e-03	3.0450e-03	2.3207e-01	3.8634e-01	0:19:58	998

<i>iter</i>	<i>continuity</i>	<i>x-velocity</i>	<i>y-velocity</i>	<i>k</i>	<i>omega</i>	<i>time/iter</i>	
155	3.0703e-03	1.9181e-04	8.0138e-05	2.4322e-03	5.7476e-07	0:20:47	845
156	3.0288e-03	1.9017e-04	7.9516e-05	2.4320e-03	5.6617e-07	0:22:14	844
! 157 solution is converged							
157	2.9920e-03	1.8855e-04	7.8902e-05	2.4318e-03	5.5786e-07	0:20:35	843

b. Plot numerik pada viskositas 301.80 kg/m-s dengan dengan temperatur 180°C dan kecepatan 0.01 m/s

<i>iter</i>	<i>continuity</i>	<i>x-velocity</i>	<i>y-velocity</i>	<i>k</i>	<i>omega</i>	<i>time/iter</i>	
1	1.0000e+00	1.1317e-03	1.3090e-03	2.2607e-02	2.1966e+19	0:33:18	999
2	1.0000e+00	5.8167e-03	3.1141e-03	2.4493e-01	3.8634e-01	0:29:56	999

<i>iter</i>	<i>continuity</i>	<i>x-velocity</i>	<i>y-velocity</i>	<i>k</i>	<i>omega</i>	<i>time/iter</i>	
155	3.0374e-03	1.9246e-04	8.0378e-05	2.4322e-03	5.7869e-07	0:17:29	845
156	3.0025e-03	1.9081e-04	7.9752e-05	2.4320e-03	5.6969e-07	0:16:47	844
! 157 solution is converged							
157	2.9706e-03	1.8918e-04	7.9134e-05	2.4318e-03	5.6166e-07	0:16:13	843

c. Plot numerik pada viscositas 280.30 kg/m-s dengan dengan temperatur 180⁰C dan kecepatan 0.01 m/s

```

iter continuity x-velocity y-velocity      k      omega  time/iter
  1 1.0000e+00 1.1422e-03 1.3122e-03 2.4806e-02 1.8947e+19 0:33:18 999
  2 1.0000e+00 5.9477e-03 3.1511e-03 2.5331e-01 3.8632e-01 0:29:56 998

154 3.0513e-03 1.9448e-04 8.1141e-05 2.4325e-03 5.8435e-07 0:12:50 846
iter continuity x-velocity y-velocity      k      omega  time/iter
155 3.0180e-03 1.9280e-04 8.0506e-05 2.4324e-03 5.7505e-07 0:13:04 845
! 156 solution is converged
156 2.9848e-03 1.9114e-04 7.9877e-05 2.4321e-03 5.6688e-07 0:13:16 844
    
```

d. Plot numerik pada viscositas 245.30 kg/m-s dengan dengan temperatur 180⁰C dan kecepatan 0.01 m/s

```

iter continuity x-velocity y-velocity      k      omega  time/iter
  1 1.0000e+00 1.1624e-03 1.3184e-03 3.0031e-02 1.4511e+19 0:16:39 999
  2 1.0000e+00 6.1898e-03 3.2187e-03 2.7072e-01 3.8634e-01 0:16:38 998

154 3.0226e-03 1.9506e-04 8.1366e-05 2.4325e-03 5.8340e-07 0:13:36 846
iter continuity x-velocity y-velocity      k      omega  time/iter
! 155 solution is converged
155 2.9863e-03 1.9337e-04 8.0725e-05 2.4323e-03 5.7633e-07 0:13:41 845
    
```