



**STUDI NUMERIK *SUDDEN EXPANSION MESO COMBUSTOR*  
PADA *MICRO POWER GENERATOR***

**SKRIPSI**

Oleh

**Fauzan Fadhili  
NIM 121910101125**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2016**



**STUDI NUMERIK *SUDDEN EXPANSION MESO COMBUSTOR*  
PADA *MICRO POWER GENERATOR***

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Fauzan Fadhili**  
**NIM 121910101125**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2016**

## PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT serta dengan tulus ikhlas dan segala kerendahan hati skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Allah SWT atas segala rizki dan karuniaNya yang telah dilimpahkan, serta kepada junjungan Nabi Muhammad SAW.
2. Keluargaku, ibunda Istiklah, ayahanda Machrus Aly, saudara sekaligus adik-adik saya Lisa Adah dan Muhammad Furqon Kamilin atas semua cinta, kasih sayang, perhatian, doa, pengorbanan, semangat, bantuan, motivasi dan bimbingan.
3. Semua keluarga dari ibu dan semua keluarga dari ayah.
4. Staf pengajar semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan bimbingan kepada saya terutama Bapak A. Adib Rosadi, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama, Bapak Ir. F.X. Kristianta, M.Eng., selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T., selaku dosen penguji I sekaligus dosen pembimbing akademik, Bapak Dedi Dwi Laksana S.T., M.T., selaku dosen penguji II.
5. Bapak Andi Sanata, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing lapangan selama penelitian dan Ibu Intan Hardiatama, S.T., M.T. selaku dosen pengajar dan pembimbing *software* simulasi numerik.
6. Almamter tercinta Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
7. *Meso combustion team* yang turut membantu suksesnya segala hal dalam penyusunan, Rachel, Ifan, Yahya, Ivan dan segenap Asisten Laboratorium Mesin-Mesin Fluida Universitas Brawijaya, Josep dan Fandi.
8. Teman-teman seperjuangan Yongki, Yorda, Rizal, Muhsin, Bayu, Agung Dika dan semua Saudara-Saudara Teknik Mesin 2012 (Mechanical Enginee12ing) atas semua kebersamaan selama ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.
9. Alumni SMKN tegalsari yang ada di Jember yang selalu mendukung perjuangan segala hal yang saya lakukan.

10. Teman-teman seperjuangan angkatan 63 Imam, Chosi, Putri, Ivan, Fara, Bagus, Hani, Eko dan junior terbaik Visi Ferdiana Putri, M. Nizar Sahadati A. dan Muh. Agradean T. yang tidak lepas turut membantu segala tahap penyelesaian proyek akhir ini.
11. Junior-junior 64, 65, dan 66 yang selalu mendukung segala pelaksanaan dan penyusunan skripsi.
12. UKM Resimen Mahasiswa Satuan 807 Universitas Jember yang telah memberikan segala ilmu dan pengalaman hingga detik ini.
13. Segenap pembina, pelatih, instruktur dan pembimbing yang telah memberikan ilmu dan pendidikannya selama ini.
14. Adik-adik sekaligus murid-murid Paskibra 2013, 2014, dan 2015, SMK 2 Jember, SMK Analis Kesehata Jember, SMP Al Furqon, Devi, Murni, Justika, Della, Syaira, Faiq, Sofyan, Holifah, Vella, Ovin, Annisa, Lukman dan yang lainnya yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

**MOTO**

“Maka sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan; Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan.”  
(Terjemahan Surat Al- Insyiraah (94) ayat 5 dan 6)<sup>\*)</sup>

Allah akan meninggikan derajat orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat  
(Terjemah Al-mujaadilah ayat 11)<sup>\*\*)</sup>

“Wahai mereka yang beriman, mintalah pertolongan kepada Allah SWT dengan sabar dan sholat. Sesungguhnya Allah SWT bersama orang-orang yang sabar  
(Terjemah Surat Al-Baqarah (2) ayat 153)<sup>\*\*\*)</sup>

---

<sup>\*)</sup>; <sup>\*\*)</sup>; <sup>\*\*\*)</sup> Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. Al-Qur'an dan Terjemahannya. Semarang: PT. Kumudasmoro Grafindo.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fauzan Fadhili

NIM : 121910101125

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan skripsi yang berjudul “*Studi Numerik Sudden Expansion Meso Combustor Pada Micro Power Generator*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah 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 kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 15 September 2016  
Yang menyatakan,

Fauzan Fadhili  
NIM 121910101125

**SKRIPSI**

**STUDI NUMERIK *SUDDEN EXPANSION MESO COMBUSTOR*  
PADA *MICRO POWER GENERATOR***

Oleh:

**Fauzan Fadhili**  
**NIM 121910101125**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. F.X. Kristianta, M.Eng.



**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “*Studi Numerik Sudden Expansion Meso Combustor Pada Micro Power Generator*” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

hari, tanggal : Kamis, 15 September 2016

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Dosen Pembimbing Utama,

Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T.  
NIP 19850117 201212 1 001

Anggota I,

Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.  
NIP 19711114 199903 1 002

Dosen Pembimbing Anggota,

Ir. F.X. Kristianta, M.Eng.  
NIP 19651020 200112 1 001

Anggota II,

Dedi Dwilaksana, S.T., M.T.  
NIP 19691201 199602 1 001

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM.  
NIP 19661215 199503 2 001



## RINGKASAN

**Studi Numerik *Sudden Expansion Meso Combustor* Pada *Micro Power Generator***; Fauzan Fadhili, 121910101125; 2016: 66 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Energi adalah suatu kebutuhan yang dapat menunjang kehidupan pada pembangunan. Energi diperlukan untuk menggerakkan berbagai aktivitas, baik alami maupun buatan. Keberlangsungan tingkat dan kualitas aktivitas manusia sangat tergantung kepada ketersediaan dan konsumsi energi. Energi yang saat ini sedang marak digunakan adalah energi fosil. Namun bahan bakar fosil mulai ditinggalkan dikarenakan cadangannya yang mulai menipis dan membahayakan lingkungan. Baterai adalah salah satu media penyimpan energi yang paling umum digunakan, dari mulai jam hingga mobil listrik yang mulai diarahkan menjadi pengganti mobil berbahan bakar konvensional.

Penelitian yang dilakukan oleh Yang *et al.* (2002) didapatkan bahwa, bahan bakar hidrogen yang digunakan sebagai bahan bakar pada MPG (*Micro Power Generator*) memiliki densitas penyimpanan energi yang jauh lebih tinggi daripada densitas penyimpanan energi pada baterai. Dengan perbandingan yaitu 120 MJ/kg untuk hidrokarbon dan 0,5 MJ/kg untuk baterai *lithium ion*. *Micro Power Generator* (MPG) merupakan suatu sistem pembangkit tenaga berskala mikro dimana mekanisme pembangkitannya dengan menggunakan pembakaran berskala kecil. Pada MPG sendiri memiliki dua komponen utama dimana kedua komponen tersebut berfungsi sebagai sumber energi, yaitu *micro* atau *meso combustor* dan modul yang dapat merubah energi panas menjadi energi listrik.

Yang *et al.* (2002) dalam penelitiannya tentang *combustor* menyatakan bahwa, pembakaran yang dilakukan dalam sebuah *combustor* dapat stabil apabila diberikan *backward facing step* atau bisa disebut *sudden expansion*. Selanjutnya kita perlu mengetahui tentang fenomena kecepatan aliran dan distribusi temperatur yang terjadi pada *combustor* sebagai dasar tentang pengaruh *sudden expansion* pada *meso*

*combustor*. *Computational Fluid Dynamics* ( CFD ) dapat memberikan kekuatan untuk mensimulasikan aliran fluida, perpindahan panas, perpindahan massa, benda-benda bergerak, aliran multifasa, reaksi kimia, interaksi fluida dengan struktur, dan sistem akustik hanya dengan permodelan di komputer.

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan pemberian *sudden expansion* pada meso *combustor* menghasilkan suatu aliran balik yang dapat memperlambat aliran sehingga membuat campuran reaktan lebih baik dalam bereaksi. Rasio perbandingan 50% (1,8/3,5 mm) memiliki fenomena kecepatan aliran yang baik pada *combustor* dengan penurunan kecepatan yang cukup besar. Rasio perbandingan 75% (2,6/3,5 mm) memiliki fenomena kecepatan aliran yang kurang baik pada *combustor* dengan penurunan kecepatan yang tidak terlalu besar. Rasio perbandingan 100% (3,5/3,5 mm) memiliki fenomena kecepatan aliran yang kurang baik pada *combustor* dikarenakan tidak mengalami penurunan kecepatan. Dari segi distribusi temperatur, rasio perbandingan 50% (1,8/3,5 mm) memiliki distribusi temperatur yang baik pada *combustor* dikarenakan distribusi temperatur lebih merata. Rasio perbandingan 75% (2,6/3,5 mm) memiliki distribusi temperatur kurang baik pada *combustor* dikarenakan distribusi temperatur kurang merata. Rasio perbandingan 100% (3,5/3,5 mm) memiliki hampir sama dengan *combustor* rasio perbandingan 75% (2,6/3,5 mm) namun sedikit berbeda pada saat mendekati daerah output.

## SUMMARY

*Numerical Study Sudden Expansion Meso Combustor In Micro Power Generator;* Fauzan Fadhili, 121910101065; 2016; 66 of page; Department of Mechanical Engineering Mechanical Faculty Jember University.

Energy is a necessity that can support life on development. Energy is needed to drive a variety of activities, both natural and artificial. Sustainability of the level and quality of human activity is highly dependent on the availability and consumption of energy. Energy is currently emerging is the fossil energy used. However, fossil fuel reserves began to be abandoned due to the thinning and harm the environment. The battery is one of the energy storage medium is most commonly used, ranging from hours to electric cars began to be directed into a substitute for conventional fueled cars

Research conducted by Yang et al. (2002) found that, hydrogen fuel is used as fuel in MPG (Micro Power Generator) has energy storage density is much higher than the density of energy storage in batteries. By comparison of 120 MJ / kg for hydrocarbons and 0.5 MJ / kg for lithium ion batteries. Micro Power Generator (MPG) is a micro-scale power generation systems where in mechanisms using small-scale combustion. At MPG it self has two major components where both components function as a source of energy, namely micro or meso combustor and modules that can transform heat energy into electrical energy

Yang et al. (2002) in his study of the combustor stated that, the burning is done in a combustor can be stabilized when given the backward facing step or can be called sudden expansion. Next we need to know about the phenomenon of the flow velocity and temperature distribution that occurs in the combustor as the basis of the influence of sudden expansion in meso combustor. Computational Fluid Dynamics (CFD) can provide power to simulate fluid flow, heat transfer, mass transfer, moving objects, multiphase flow, chemical reactions, fluid structure interaction, and acoustic systems simply by modeling on the computer

Based on research that has been conducted Award sudden expansion in meso combustor to produce a backflow that can slow down the flow so as to make the reactant mixture. Ratio of 50% (1.8 / 3.5 mm) has a good flow rate phenomenon in the combustor with sizeable drop in speed. Ratio of 75% (2.6 / 3.5 mm) had the phenomenon of poor flow velocity in the combustor with a reduced speed that is not too large. Ratio of 100% (3.5 / 3.5 mm) has a flow rate phenomenon unfavorable to the combustor due not decreasing speed. In terms of temperature distribution, a ratio of 50% (1.8 / 3.5 mm) has a good temperature distribution in the combustor due to more uniform temperature distribution. Ratio of 75% (2.6 / 3.5 mm) have unfavorable temperature distribution in the combustor due to uneven temperature distribution. Ratio of 100% (3.5 / 3.5 mm) have almost the same as the combustor ratio of 75% (2.6 / 3.5 mm) but slightly different when approaching the area output.

## PRAKATA

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT, karena dengan limpahan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “*Studi Numerik Sudden Expansion Meso Combustor Pada Micro Power Generator*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

Selama penelitian dan penulisan laporan Skripsi ini, telah banyak mendapatkan bantuan, bimbingan dan pengarahan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini tak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Hari Arbiantara S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Bapak Hary Sutjahjono S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi S1 jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus Dosen Penguji I yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi.
5. Bapak Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing utama, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi.
6. Bapak Ir. F.X. Kristianta, M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Anggota, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi.
7. Bapak Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji II, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi.
8. Ayah, Ibu, Adik, dan juga keluarga besarku yang telah memberikan dukungan moril, materil, do’a dan semangat demi terselesainya kuliahku khususnya dan selama menuntut ilmu di bangku sekolah pada umumnya.
9. Dosen, staf, dan teknisi jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.



10. Teman – teman beserta seluruh pihak yang tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu yang telah membantu dalam pelaksanaan skripsi ini.

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

Jember, 15 September 2016

Penulis



**DAFTAR ISI**

<b>HALAMAN SAMBUNG</b> .....	i
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>MOTTO</b> .....	v
<b>PERNYATAAN</b> .....	vi
<b>PEMBIMBINGAN</b> .....	vii
<b>PENGESAHAN</b> .....	viii
<b>RINGKASAN</b> .....	ix
<b>PRAKATA</b> .....	xiii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xviii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xx
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b>	
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	4
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	4
<b>1.4 Tujuan dan Manfaat</b> .....	5
1.4.1 Tujuan .....	5
1.4.2 Manfaat .....	5
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
<b>2.1 Micro Power Generator (MPG)</b> .....	6
2.1.1 Micro/Meso-scale Combustor .....	7
<b>2.2 Proses Pembakaran</b> .....	8
2.2.1 Rasio Udara-Bahan Bakar .....	9
2.2.2 Equivalence Ratio .....	10



<b>2.3 <i>Liquified Petroleum Gas (LPG)</i></b> .....	10
<b>2.4 Mekanika Fluida</b> .....	11
2.4.1 Fluida Statis dan Dinamis .....	12
2.4.2 Sifat Dasar Fluida .....	12
<b>2.5 Aliran Fluida</b> .....	14
2.5.1 Klasifikasi Aliran .....	14
2.5.2 Kecepatan dan Kapasitas Aliran Fluida .....	14
2.5.3 Aliran Fluida dalam Pipa .....	16
2.5.4 Aliran Fluida Pada Saluran Pembesaran Mendadak .....	16
<b>2.6 <i>Computational Fluid Dynamics</i></b> .....	18
2.6.1 Sejarah CFD .....	18
2.6.2 Proses Perhitungan CFD .....	19
<b>2.7 Penelitian Sebelumnya</b> .....	21
<b>2.8 Hipotesa</b> .....	22
 <b>BAB 3. METODOLOGI</b>	
<b>3.1 Metode Penelitian</b> .....	23
<b>3.2 Waktu dan Tempat Penelitian</b> .....	23
<b>3.3 Variabel Penelitian</b> .....	23
3.3.1 Variabel Bebas .....	23
3.3.2 Variabel Terikat .....	25
<b>3.4 Alat dan Bahan</b> .....	25
3.4.1 Alat .....	25
3.4.2 Bahan .....	25
<b>3.5 Prosedur Penelitian</b> .....	27
3.5.1 Tahapan <i>Geometry, Meshing, dan Boundary Type</i> .....	27
3.5.2 Tahapan Simulasi dengan <i>Software CFD</i> .....	27
<b>3.6 Diagram Alir</b> .....	29
3.6.1 Diagram Alir Langkah Kerja .....	29

3.6.2 Diagram Alir Simulasi ..... 30

**BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Data Hasil Penelitian** ..... 31

**4.2 Proses Permodelan *Combustor***..... 31

    4.2.1 Proses Geometri ..... 32

    4.2.2 Proses Diskritisasi (*Meshing*) ..... 34

    4.2.3 Penentuan Daerah Batas (*Boundary Zone*) ..... 36

**4.3 Proses Simulasi** ..... 37

    4.3.1 Kondisi Permodelan ..... 37

    4.3.2 Definisi Permodelan ..... 40

    4.3.3 Proses Perhitungan Numerik..... 41

**4.4 Perbandingan Hasil Simulasi** ..... 44

    4.4.1 Perbandingan Fenomena Kecepatan Aliran ..... 44

    4.4.2 Perbandingan Distribusi Temperatur ..... 48

    4.4.3 Perbandingan Plot Grafik Simulasi ..... 53

**4.5 Analisa Hasil Simulasi** ..... 57

    4.5.1 Analisa Fenomena Kecepatan Aliran ..... 58

    4.5.2 Analisa Distribusi Temperatur ..... 62

**BAB 5. PENUTUP**

**5.1 Kesimpulan** ..... 65

**5.2 Saran** ..... 65

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

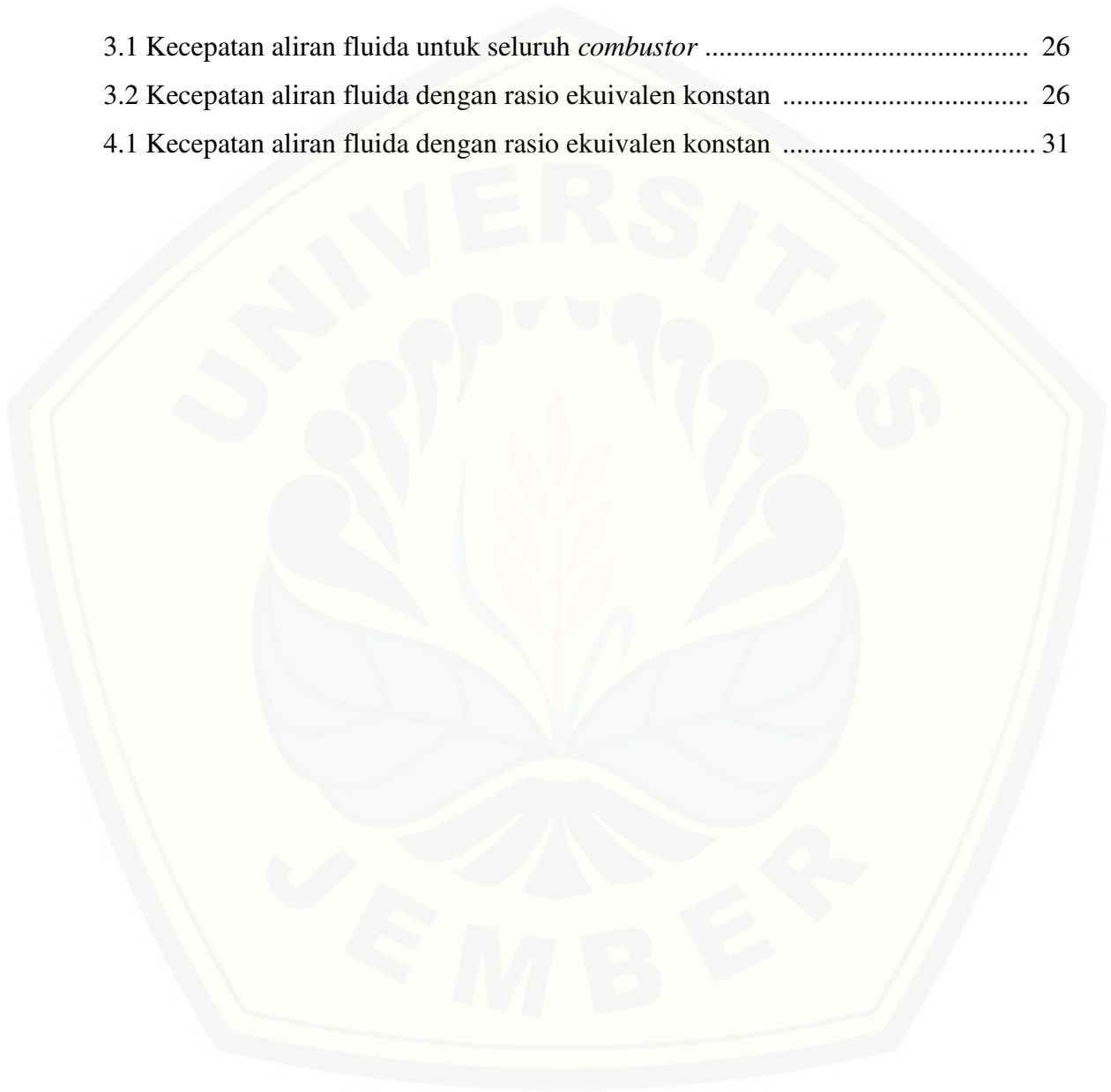
DAFTAR GAMBAR

2.1 <i>Micro power generator</i> dengan siklus daya konvensional .....	6
2.2 <i>Micro power generator</i> dengan prinsip <i>thermoelectric</i> .....	7
2.3 Profil kecepatan pada saluran tertutup .....	14
2.4 Profil kecepatan pada saluran terbuka .....	15
2.5 Profil aliran fluida pada pipa .....	16
2.6 Pola aliran pada sistem <i>sudden expansion</i> .....	17
3.1 Variasi diameter <i>inlet combustor</i> 1,8 mm .....	23
3.2 Variasi diameter <i>inlet combustor</i> 2,6 mm .....	24
3.3 Variasi diameter <i>inlet combustor</i> 3,5 mm .....	24
3.4 Diagram alir langkah kerja .....	29
3.5 Diagram alir simulasi .....	30
4.1 Titik batas dimensi <i>combustor</i> diameter 1,8/3,5 mm .....	32
4.2 Garis batas dimensi <i>combustor</i> diameter 1,8/3,5 mm .....	33
4.3 Pendefinisian <i>interface</i> dimensi <i>combustor</i> diameter 1,8/3,5 mm .....	33
4.4 Penentuan jumlah titik <i>mesh</i> dimensi <i>combustor</i> diameter 1,8/3,5 mm .....	35
4.5 Penentuan <i>mesh face</i> dimensi <i>combustor</i> diameter 1,8/3,5 mm .....	35
4.6 Penentuan <i>boundary zone</i> dimensi <i>combustor</i> diameter 1,8/3,5 mm .....	36
4.7 Residual iterasi <i>combustor</i> diameter 1,8/3,5 mm .....	42
4.8 Residual iterasi <i>combustor</i> diameter 2,6/3,5 mm .....	42
4.9 Residual iterasi <i>combustor</i> diameter 3,5/3,5 mm .....	43
4.10 Fenomena kecepatan aliran diameter 1,8/3,5 mm $v = 0.205$ m/s .....	44
4.11 Fenomena kecepatan aliran diameter 2,6/3,5 mm $v = 0.205$ m/s .....	44
4.12 Fenomena kecepatan aliran diameter 3,5/3,5 mm $v = 0.205$ m/s .....	45
4.13 Fenomena kecepatan aliran diameter 1,8/3,5 mm $v = 0.205$ m/s .....	46
4.14 Fenomena kecepatan aliran diameter 2,6/3,5 mm $v = 0.205$ m/s .....	46
4.15 Fenomena kecepatan aliran diameter 3,5/3,5 mm $v = 0.205$ m/s .....	47

4.16 Distribusi temperatur diameter 1,8/3,5 mm dengan $v = 0.205$ m/s .....	48
4.17 Distribusi temperatur diameter 2,6/3,5 mm dengan $v = 0.205$ m/s.....	48
4.18 Distribusi temperatur diameter 3,5/3,5 mm dengan $v = 0.205$ m/s .....	49
4.19 Distribusi temperatur diameter 1,8/3,5 mm dengan $v = 0.205$ m/s .....	50
4.20 Distribusi temperatur diameter 2,6/3,5 mm dengan $v = 0.205$ m/s .....	50
4.21 Distribusi temperatur diameter 3,5/3,5 mm dengan $v = 0.205$ m/s .....	51
4.22 Plot grafik fenomena kecepatan diameter 1,8/3,5 mm dengan $v = 0.205$ m/s .....	53
4.23 Plot grafik fenomena kecepatan diameter 2,6/3,5 mm dengan $v = 0.205$ m/s .....	54
4.24 Plot grafik fenomena kecepatan diameter 3,5/3,5 mm dengan $v = 0.205$ m/s .....	54
4.25 Plot grafik distribusi temperatur diameter 1,8/3,5 mm dengan $v = 0.205$ m/s .....	55
4.26 Plot grafik distribusi temperatur diameter 2,6/3,5 mm dengan $v = 0.205$ m/s .....	56
4.27 Plot grafik distribusi temperatur diameter 3,5/3,5 mm dengan $v = 0.205$ m/s .....	56
4.28 Grafik fenomena kecepatan terhadap panjang <i>combustor</i> 1,8/3,5 mm .....	58
4.29 Grafik fenomena kecepatan terhadap panjang <i>combustor</i> 2,6/3,5 mm .....	60
4.30 Grafik fenomena kecepatan terhadap panjang <i>combustor</i> 3,5/3,5 mm .....	61
4.31 Grafik distribusi temperatur terhadap panjang <i>combustor</i> 1,8/3,5 mm .....	62
4.32 Grafik distribusi temperatur terhadap panjang <i>combustor</i> 2,6/3,5 mm .....	63
4.33 Grafik distribusi temperatur terhadap panjang <i>combustor</i> 3,5/3,5 mm .....	64

**DAFTAR TABEL**

3.1 Kecepatan aliran fluida untuk seluruh <i>combustor</i> .....	26
3.2 Kecepatan aliran fluida dengan rasio ekuivalen konstan .....	26
4.1 Kecepatan aliran fluida dengan rasio ekuivalen konstan .....	31



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi adalah suatu kebutuhan yang dapat menunjang kehidupan pada pembangunan. Energi diperlukan untuk menggerakkan berbagai aktivitas, baik alami maupun buatan. Energi menjadi salah satu penentu keberlangsungan hidup suatu masyarakat dalam menjaga berbagai proses ekologis dan meningkatkan kualitas hidup. Keberlangsungan tingkat dan kualitas aktivitas sangat tergantung kepada ketersediaan dan konsumsi energi (Nasri dan Utomo, 2015).

Dalam tahun (anggaran) 1979/1980 pemakaian komersial di Indonesia berjumlah 33,045 juta ton batu bara ekuivalen (TBE), terdiri atas minyak bumi sebanyak 82,2 juta TBE (atau 79,9%), gas bumi sebanyak 6,070 juta TBE (atau 18.2%), batu bara 0,206 juta TBE (atau 1.5%). Pada data tersebut menjelaskan bahwa minyak bumi sangat mendominasi pemakaian di tanah air. Konsumsi untuk motor gasoline (mogas) sendiri mencapai 148.575 ribu barrel dan minyak solar 174.669 ribu barrel pada tahun 2010 (Nasri dan Utomo, 2015).

Dengan beberapa alasan di atas perlu diadakannya peralihan energi melalui energi alternatif yang ada maupun yang saat ini sedang dikembangkan. Pilihan tersebut diambil dengan alasan bahwa bahan bakar fosil mulai ditinggalkan dikarenakan cadangannya yang mulai menipis dan membahayakan lingkungan. Di samping kebutuhan energi, penyimpanan energi (*energy storage*) menjadi fokus penting dalam keadaan energi sekarang ini. Baterai adalah salah satu media penyimpanan energi yang paling umum digunakan, dari mulai jam hingga mobil listrik yang mulai diarahkan menjadi pengganti mobil berbahan bakar konvensional.

Lewis menemukan baterai *lithium* yang pertama, walaupun produksi baterai *lithium* yang dapat diisi ulang baru dimulai pada tahun 1970. Baterai *lithium* yang paling umum ditemui adalah jenis *Li-ion*, yaitu baterai yang bekerja dengan



pergerakan ion *lithium* antara anoda dan katoda, dengan senyawaan *lithium* yang terinterkalasi sebagai bahan elektroda. Namun baterai *lithium* yang saat ini masih digunakan memiliki beberapa kekurangan, diantaranya adalah kerapatan energi yang masih rendah.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yang *et al.* (2002) didapatkan bahwa, bahan bakar hidrogen yang digunakan sebagai bahan bakar pada MPG (*Micro Power Generator*) memiliki densitas penyimpanan energi yang jauh lebih tinggi daripada densitas penyimpanan energi pada baterai. Dengan perbandingan yaitu 120 MJ/kg untuk hidrokarbon dan 0,5 MJ/kg untuk baterai *lithium ion*. Penelitian lain dilakukan oleh Shimokuri *et al.* (2014) didapatkan bahwa pada MPG (*Micro Power Generator*) dengan *meso-scale vortex combustor* dapat menghasilkan suhu sekitar 300°C dengan energi 145 W dimana bahan bakar yang digunakan adalah campuran antara propana dan butana. Penelitian tersebut dapat meningkatkan sekitar 1,98 W atau sekitar 0,7% untuk setiap unit MPG (*Micro Power Generator*). Dengan adanya beberapa hal tersebut kita dapat mengambil alternatif lain sebagai jalan keluar, yaitu dengan memanfaatkan pembakaran dengan bahan bakar yang ramah lingkungan dan tentunya dapat menghasilkan kerapatan energi yang jauh lebih besar daripada baterai yang saat ini ada.

*Micro Power Generator* (MPG) merupakan suatu sistem pembangkit tenaga berskala mikro dimana mekanisme pembangkitannya dengan menggunakan pembakaran berskala kecil. Pada saat ini perkembangan energi mikro sangat marak dilakukan oleh berbagai pihak, diantaranya pada MPG tersebut. Pada MPG sendiri memiliki dua komponen utama dimana kedua komponen tersebut berfungsi sebagai sumber energi, yaitu *micro* atau *meso combustor* dan modul yang dapat merubah energi panas menjadi energi listrik.

Penelitian yang dilakukan oleh Sari (2015) menyatakan bahwa, *meso combustor* berfungsi mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi termal. Pembakaran yang berlangsung juga haruslah stabil, dan untuk melakukan hal itu perlu memperhatikan waktu pembakaran dalam ruang bakar (*fuel residence time*) dan



besarnya laju kehilangan kalor (*heat loss*) dikarenakan dua hal tersebut dapat mengakibatkan api pada *combustor* mudah padam.

Mikami *et al.* (2012) dalam penelitiannya tentang pengaruh diameter *combustor* yang divariasikan dengan bentuk silinder terhadap kestabilan api dan kecepatan pembakaran menyatakan bahwa, semakin kecil ukuran dari *combustor*, maka daerah kestabilan api juga semakin kecil. Keadaan ini karena laju kehilangan panasnya (*heat loss*) lebih tinggi sedangkan waktu nyala api yang sangat singkat akibat dari peningkatan volume dengan bertambahnya perbandingan luas permukaan.

Yang *et al.* (2002) dalam penelitiannya tentang *combustor* menyatakan bahwa, pembakaran yang dilakukan dalam sebuah *combustor* dapat stabil apabila diberikan *backward facing step* atau bisa disebut *sudden expansion*. Selain itu pada suatu *combustor* yang diberikan *sudden expansion* pencampuran bahan bakar dan udara bisa lebih ditingkatkan, begitu juga untuk waktu tinggal reaktan dalam reaksi pembakaran bisa lebih lama. *Sudden expansion* sendiri merupakan pembesaran diameter *combustor* dimana antara kedua sisi *combustor* yakni inlet dan outlet memiliki diameter yang berbeda. Dengan diameter outlet lebih besar daripada diameter inlet ( $D_{inlet} < D_{outlet}$ ). Untuk diameter keluaran yang digunakan dalam penelitian ini adalah 3,5 mm dengan harapan akan memberikan hasil yang baru dan lebih baik daripada penelitian sebelumnya.

Dengan kemampuan meningkatkan waktu tinggal reaktan dalam reaksi pembakaran, pemberian *sudden expansion* sangatlah menguntungkan. Hal ini dikarenakan apabila waktu tinggal reaktan lebih lama, dapat meningkatkan posisi api dan meningkatkan laju aliran serta mampu mensirkulasikan reaktan dalam pembakaran. Selain itu pemberian *sudden expansion* juga meningkatkan temperatur pada dinding *combustor*, sehingga diharapkan dengan temperatur yang lebih tinggi maka *combustor* akan lebih efektif.

Melihat penelitian yang dilakukan sebelumnya tentang *meso combustor* dengan *sudden expansion*, kita perlu mengetahui tentang fenomena kecepatan aliran dan distribusi temperatur yang terjadi pada *combustor* sebagai dasar tentang pengaruh

perbedaan diameter masukan pada *sudden expansion meso combustor*. Untuk mengetahui tentang fenomena kecepatan aliran dan distribusi temperatur tersebut, tidak bisa dilakukan secara visual atau menggunakan kamera canggih sekalipun. Dalam hal ini kita akan menggunakan metode studi numerik dengan sistem *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

*Computational Fluid Dynamics* ( CFD ) dapat memberikan kekuatan untuk mensimulasikan aliran fluida, perpindahan panas, perpindahan massa, benda- benda bergerak, aliran multifasa, reaksi kimia, interaksi fluida dengan struktur, dan sistem akustik hanya dengan permodelan di komputer. Dengan menggunakan metode ini akan tampak bentuk *virtual prototype* dari sistem yang digunakan atau alat yang ingin dianalisis dengan menerapkan kondisi nyata di lapangan. CFD akan memberikan data-data, gambar-gambar, atau kurva-kurva yang menunjukkan prediksi dari performansi keandalan sistem tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimanakah pengaruh variasi diameter *inlet* terhadap fenomena kecepatan aliran dan distribusi temperatur yang terjadi pada *sudden expansion meso combustor*.

## 1.3 Batasan Masalah

Agar dalam penyusunan penelitian ini tidak meluas pada permasalahan yang lain, maka perlu diadakannya batasan-batasan masalah yang meliputi:

1. Metode yang digunakan adalah studi numerik dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* ( CFD ) komersial.
2. Hanya membahas tentang fenomena kecepatan aliran dan distribusi temperatur yang terjadi pada silinder *meso combustor*.
3. Aliran fluida diasumsikan dalam keadaan *steady*.

## 1.4 Tujuan dan Manfaat

### 1.4.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh pemberian *sudden expansion* pada *meso combustor* terhadap campuran reaktan.
2. Untuk mengetahui pengaruh rasio perbandingan diameter *sudden expansion meso combustor* terhadap fenomena kecepatan aliran.
3. Untuk mengetahui pengaruh rasio perbandingan diameter *sudden expansion meso combustor* terhadap distribusi temperatur.

### 1.4.2 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah:

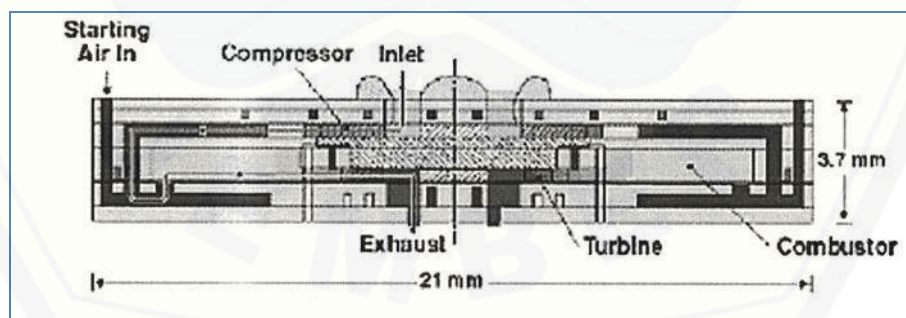
1. Agar mahasiswa mengetahui pengaruh pemberian *sudden expansion* pada *meso combustor* terhadap campuran reaktan.
2. Agar mahasiswa mengetahui pengaruh rasio perbandingan diameter *sudden expansion meso combustor* terhadap fenomena kecepatan aliran.
3. Agar mahasiswa mengetahui pengaruh rasio perbandingan diameter *sudden expansion meso combustor* terhadap distribusi temperatur.
4. Memberikan pengetahuan baru kepada masyarakat secara umumnya dan mahasiswa secara khususnya dan dapat dijadikan panduan untuk penelitian selanjutnya.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Micro Power Generator (MPG)*

*Micro power generator* adalah sumber energi berskala mikro yang memanfaatkan prinsip pembakaran dalam pembangkitan energinya. Dengan adanya *micro power generator* diharapkan ketergantungan pada sumber energi baterai dapat dikurangi. *Micro power generator* sendiri pada dasarnya terbagi menjadi dua jenis, diantaranya adalah *micro power generator* yang menggunakan siklus daya konvensional dan *micro power generator* dengan menggunakan modul pengkonversi energi termal menjadi energi listrik (*thermophotovoltaic* atau *thermoelectric*). Perbedaan kedua *micro power generator* ini terletak dari prinsip kerja pembangkitan energi listriknya (Sari, 2015).

Pada *micro power generator* yang menggunakan prinsip kerja daya konvensional dengan memanfaatkan pembakaran untuk memutar turbin yang berskala mikro. Pada *micro power generator* jenis ini, prinsip kerjanya sangat mirip dengan turbin gas, namun untuk ukurannya dibuat kecil.

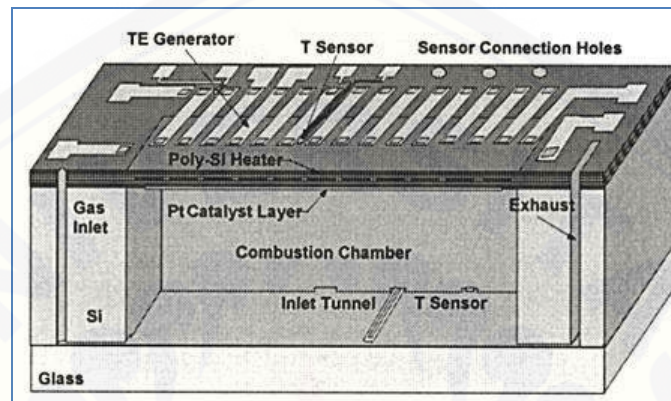


Gambar 2.1 *Micro power generator* dengan siklus daya konvensional  
(Sumber : Fernandez dan Pello, 2002)

Sedangkan *micro power generator* dengan menggunakan *thermoelectric* menggunakan prinsip kerja yang hampir sama dengan *thermophotovoltaic* (TPV).



Letak perbedaannya adalah pada tipe pembangkit energinya yaitu, pada *micro power generator* jenis ini tidak memanfaatkan energi dari sinar matahari melainkan dari hasil pembakaran berskala mikro (Fernandez dan Pello, 2002).



Gambar 2.2 *Micro power generator* dengan prinsip *thermoelectric*  
(Sumber : Fernandez dan Pello, 2002)

### 2.1.1 *Micro/Meso-scale Combustor*

*Micro combustor* secara garis besar dikelompokkan menjadi dua golongan yaitu *micro-scale combustor* dan *meso-scale combustor*. Pengelompokan tersebut berdasarkan besarnya celah pada ruang bakar. *Micro-scale combustor* memiliki celah ruang bakar yang berukuran kurang dari 1 mm. Sedangkan *meso-scale combustor* memiliki ukuran celah ruang bakar lebih dari 1 mm, akan tetapi karakteristik pembakaran masih menyerupai *micro combustion* (Maruta, 2011).

Pada penelitian ini menggunakan *meso-scale combustor* dengan ciri khas yaitu sulitnya untuk mendapatkan kestabilan api yang disebabkan oleh perbandingan luas permukaan dengan volume yang besar (*surface to volume ratio*), sehingga *heat-loss* yang dihasilkan juga semakin tinggi. *Heat-loss* tersebut dapat menyebabkan api mati karena panas dari pembakaran sebelumnya tidak cukup untuk menjadi energi aktivasi untuk pembakaran selanjutnya.

Penggunaan bahan bakar gas pada *meso-scale combustor* sampai saat ini sudah banyak diteliti karena mudah untuk pengaturan besar debit bahan bakarnya dan tercampur dengan udara.

## 2.2 Proses Pembakaran

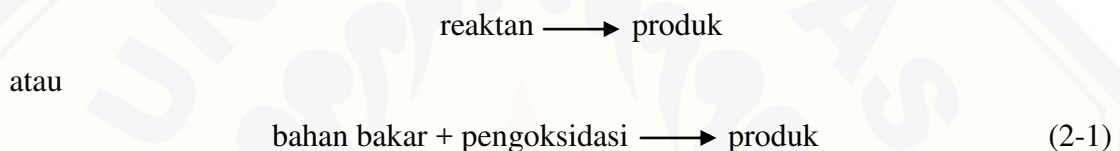
Ketika terjadi pembakaran kimia, ikatan-ikatan di dalam molekul-molekul dari reaktan-reaktan menjadi terputus dan atom-atom dan elektron-elektron tersusun ulang menjadi produk-produk. Di dalam reaksi pembakaran, elemen-elemen bahan bakar yang mudah terbakar mengalami proses oksidasi yang cepat sehingga menghasilkan pelepasan energi bersamaan dengan terbentuknya produk hasil pembakaran. Tiga elemen kimia utama yang mudah terbakar di dalam bahan bakar yang paling umum ditemukan adalah karbon, hidrogen, dan sulfur. Sulfur biasanya merupakan kontributor yang relatif tidak penting dalam pelepasan energi, tapi dapat menjadi signifikan karena permasalahan dengan polusi dan korosi yang disebabkan (Moran dan Saphiro, 2004:328-329).

Pembakaran dituntaskan ketika semua karbon yang terkandung di dalam bahan bakar telah habis terbakar menjadi karbon dioksida, semua hidrogen telah habis terbakar menjadi air, dan semua sulfur telah habis terbakar menjadi sulfur dioksida, dan semua elemen-elemen yang mudah terbakar lainnya telah teroksidasi. Jika kondisi tersebut tidak terpenuhi, pembakaran dikatakan tidak tuntas (Moran dan Saphiro, 2004:328-329).

Pembakaran merupakan reaksi kimia yang sangat rumit dan cepat antara udara dan bahan bakar disertai dengan produksi panas, atau panas dan cahaya. Pembakaran sempurna terjadi hanya jika ada pasokan oksigen dan bahan bakar yang cukup (UNEP, 2006). Oksigen ( $O_2$ ) merupakan salah satu elemen bumi paling umum yang jumlahnya mencapai 20.9% dari udara. Bahan bakar gas akan terbakar pada keadaan normal jika terdapat udara yang cukup. Hampir 79% udara (tanpa adanya oksigen) merupakan nitrogen, dan sisanya merupakan elemen lainnya. Nitrogen dianggap sebagai pencair yang menurunkan suhu yang harus ada untuk mencapai oksigen yang

dibutuhkan untuk pembakaran. Nitrogen mengurangi efisiensi pembakaran dengan cara menyerap panas dari pembakaran bahan bakar dan mengencerkan gas buang. Nitrogen ini juga dapat bergabung dengan oksigen (terutama pada suhu nyala yang tinggi) untuk menghasilkan oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ), yang merupakan pencemar beracun (UNEP, 2006).

Untuk reaksi-reaksi pembakaran antara udara dan bahan bakar dapat dinyatakan dalam persamaan kimia (2-1) berikut :



Ketika menangani reaksi kimia, perlu diingat bahwa terjadi konservasi massa, sehingga massa dari produk berjumlah sama dengan massa dari reaktan. Massa total dari setiap elemen kimia harus sama pada kedua sisi dari persamaan, elemen-elemen tersebut terkandung di dalam senyawa kimia yang berbeda di dalam reaktan dan produk. Akan tetapi, jumlah mol dari produk dapat berbeda dengan jumlah mol reaktan (Moran dan Saphiro, 2004:329).

### 2.2.1 Rasio Udara-Bahan Bakar (*AFR*)

Dua parameter yang sering digunakan untuk memberikan kuantifikasi jumlah bahan bakar dan udara di dalam proses pembakaran tertentu adalah rasio udara-bahan bakar dan kebalikannya rasio bahan bakar-udara. Rasio udara-bahan bakar singkatnya adalah rasio jumlah udara di dalam sebuah reaksi terhadap jumlah bahan bakar. Rasio ini dapat dituliskan dengan basis molar (mol udara dibagi dengan mol bahan bakar) atau dengan basis massa (massa udara dibagi dengan massa bahan bakar) (Moran dan Saphiro, 2004:330).



### 2.2.2 Equivalence Ratio ( $\Phi$ )

*Equivalence ratio* merupakan nilai perbandingan antara rasio campuran bahan bakar dan udara stoikiometrik terhadap rasio campuran udara dan bahan bakar aktual. Menurut nilai rasio ekuivalen, jenis campuran udara dan bahan bakar dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu:

- $\Phi > 1$  Terdapat kelebihan bahan bakar dan campurannya disebut sebagai campuran kaya bahan bakar (*fuel-rich mixture*)
- $\Phi < 1$  disebut sebagai campuran miskin bahan bakar (*fuel-lean mixture*)
- $\Phi = 1$  adalah campuran stoikiometrik

### 2.3 Liquefied Petroleum Gas (LPG)

*Liquefied Petroleum Gas* (LPG) terdiri dari campuran utama propana dan butana dengan sedikit persentase hidrokarbon tidak jenuh (*propilen* dan *butilene*) dan beberapa fraksi C<sub>2</sub> yang lebih ringan dan C<sub>5</sub> yang lebih berat. Senyawa yang terdapat dalam LPG adalah propana (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), *propilen* (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>), normal dan iso-butan (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) dan *butilen* (C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>) (UNEP, 2006). Menurut Harun (2010), berdasarkan spesifikasi LPG yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi No. 26525.K/10/DJM.T/2009 komposisi produk LPG minimal mengandung campuran propane dan butane sebesar 97% dan maksimum 2% merupakan campuran petana dan hidrokarbon yang lebih berat. Batasan komposisi butana dan propane dalam spesifikasi tersebut dibatasi dengan parameter maksimum tekanan uap yang ditentukan sebesar 145 psi. Komposisi campuran LPG Pertamina mengandung 50% propane dan 50% butane dan telah sesuai dengan ketentuan tersebut baik dari aspek komposisi maupun tekanan uapnya yang telah diperhitungkan sesuai dengan kalori/daya bakar yang diperlukan.

LPG merupakan campuran dari hidrokarbon tersebut yang berbentuk gas pada tekanan atmosfer, namun dapat diembunkan menjadi bentuk cair pada suhu normal, dengan tekanan yang cukup besar. Walaupun digunakan sebagai gas, namun untuk

kenyamanan dan kemudahannya, disimpan dan ditransport dalam bentuk cair dengan tekanan tertentu. LPG cair, jika menguap membentuk gas dengan volume sekitar 250 kali.

Uap LPG lebih berat dari udara, karena butana beratnya sekitar dua kali berat udara dan propana sekitar satu setengah kali berat udara. Sehingga, uap dapat mengalir didekat permukaan tanah dan turun hingga ke tingkat yang paling rendah dari lingkungan dan dapat terbakar pada jarak tertentu dari sumber kebocoran. Pada udara yang tenang, uap akan tersebar secara perlahan. Lolosnya gas cair walaupun dalam jumlah sedikit, dapat meningkatkan campuran perbandingan volume uap/udara sehingga dapat menyebabkan bahaya. Untuk membantu pendeteksian kebocoran ke atmosfer, LPG biasanya ditambah bahan yang berbau. Harus tersedia ventilasi yang memadai didekat permukaan tanah pada tempat penyimpanan LPG. Karena alasan di atas, sebaiknya tidak menyimpan tabung LPG di gudang bawah tanah atau lantai bawah tanah yang tidak memiliki ventilasi udara (UNEP, 2006).

#### **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, dengan demikian keduanya disebut fluida. 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) (Munson *et al.*, 2003).

### 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 (Rosyid, 2014).

#### 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, perkiraan pola cuaca, dan bahkan teknik lalu lintas, dimana lalu lintas diperlakukan sebagai fluida yang berkelanjutan (Rosyid, 2014).

### 2.4.2 Sifat Dasar Fluida

Fluida merupakan suatu zat yang dalam keadaan setimbang tak dapat menahan gaya atau tegangan geser (*shear force*). Definisi lain dari fluida adalah zat yang dapat mengalir yang mempunyai partikel yang mudah bergerak dan berubah bentuk tanpa pemisahan massa. 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 (Rosyid, 2014).

a. Berat Jenis

Berat jenis (*specific weight*) dari suatu fluida, dilambangkan dengan  $\gamma$  (*gamma*), didefinisikan sebagai berat tiap satuan volume.

b. Kerapatan

Kerapatan suatu fluida didefinisikan sebagai massa tiap satuan volume pada suatu temperatur dan tekanan tertentu. Kerapatan dinyatakan dengan  $\rho$  (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 (Rosyid, 2014).

c. Tekanan

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  $\text{Newton/m}^2$ . Dalam teknik memang lebih banyak digunakan satuan tekanan lain seperti psi (*pound per square inch*), bar, atm,  $\text{kgf/m}^2$  atau dalam ketinggian kolom zat cair seperti cmHg (Rosyid, 2014).

d. Kekentalan (viskositas)

Kekentalan (viskositas) 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 (*shear stress*) maupun tegangan tarik (*tensile stress*). Dalam kehidupan sehari-hari dapat kita jumpai pada fluida seperti air, jelly, madu, susu, dapat pula dikatakan karena tegangan geser air kecil, sehingga mudah jatuh maka viskositas air lebih kecil dibandingkan dengan madu, karena madu mempunyai tegangan geser internal yang lebih besar, saat diteteskan madu lebih sulit untuk jatuh dibandingkan dengan air (Rosyid, 2014).

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*. *Rheology* adalah ilmu yang mempelajari aliran suatu benda. Yang didalamnya terdapat juga konsep viskositas, *thermofluid* dan hubungan lainnya.

## 2.5 Aliran Fluida

### 2.5.1 Klasifikasi Aliran

Secara garis besar jenis aliran dapat dibedakan atau dikelompokkan sebagai berikut:

#### a. Aliran Tunak (*steady*)

Suatu aliran dimana kecepatannya tidak terpengaruh oleh perubahan waktu, sehingga kecepatan konstan pada setiap titik (tidak mempunyai percepatan).

#### b. Aliran Tidak Tunak (*unsteady*)

Suatu aliran dimana terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu.

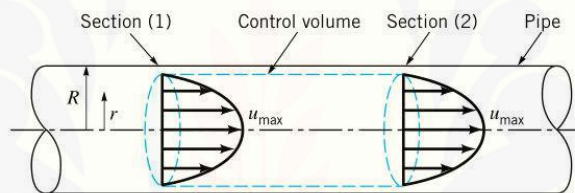
### 2.5.2 Kecepatan dan Kapasitas Aliran Fluida

Penentuan kecepatan di sejumlah titik pada suatu penampang memungkinkan untuk membantu dalam menentukan besarnya kapasitas aliran sehingga pengukuran

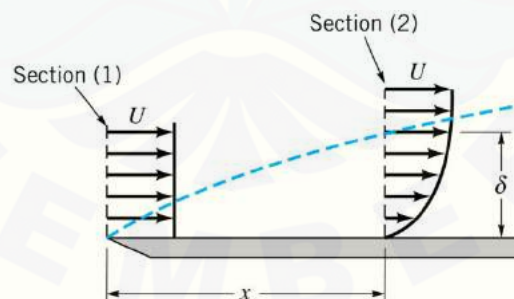


kecepatan merupakan fase yang sangat penting dalam menganalisa suatu aliran fluida. Kecepatan dapat diperoleh dengan melakukan pengukuran terhadap waktu yang dibutuhkan suatu partikel yang dikenali untuk bergerak sepanjang jarak yang telah ditentukan.

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. Bentuk kecepatan yang digunakan pada aliran fluida umumnya menunjukkan kecepatan yang sebenarnya.



Gambar 2.3 Profil kecepatan pada saluran tertutup  
(Sumber: Munson *et al.*, 2003).



Gambar 2.4 Profil kecepatan pada saluran terbuka  
(Sumber: Munson *et al.*, 2003).

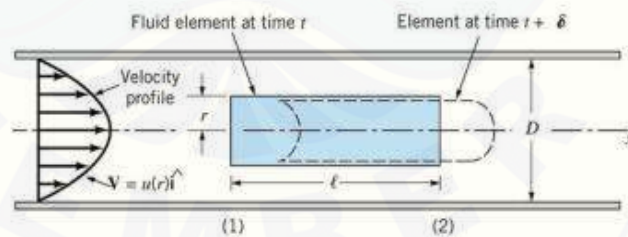
Besarnya kecepatan akan mempengaruhi besarnya fluida yang mengalir dalam suatu pipa. Jumlah dari aliran fluida mungkin dinyatakan sebagai volume, berat atau

massa fluida dengan masing-masing laju aliran ditunjukkan sebagai laju aliran volume ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), laju aliran berat ( $\text{N/s}$ ) dan laju aliran massa ( $\text{kg/s}$ ).

### 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 2.5 Profil aliran fluida pada pipa  
(Sumber: White, 1998)

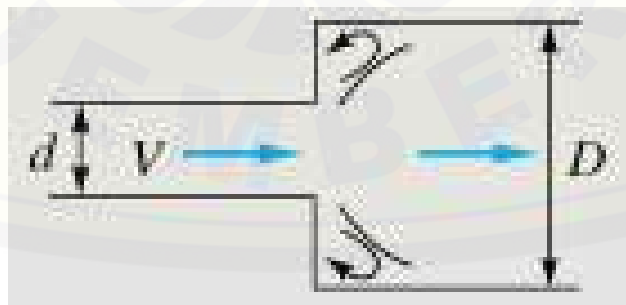
### 2.5.4 Aliran Fluida Pada Saluran Dengan Pembesaran Mendadak

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

Penelitian yang dilakukan Wenming *et al.* (2002) menyatakan bahwa, *backward facing step (sudden expansion)* mampu mensirkulasikan pencampuran pembakaran di sekitar tepi tabung *combustor*, serta membuat pembakaran lebih komplit dan stabil. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa *meso combustor* dengan *sudden expansion* sangat efektif untuk aplikasi konversi energi secara langsung dimana temperatur panas dinding tersebut yang diperlukan sebagai sumber panas, seperti pada sistem *Thermoelectric Power Generator*.

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 ke seluruh penampang pipa, dan aliran berkembang penuh terbentuk kembali.



Gambar 2.8 Pola aliran pada sistem *sudden expansion*  
(Sumber: White, 1998)

## 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 kontrol-kontrol penghitungan lainnya merupakan pembagian ruang yang disebutkan tadi atau *meshing*. Nantinya, pada setiap titik kontrol penghitungan akan dilakukan penghitungan oleh aplikasi dengan batasan domain dan *boundary condition* yang telah ditentukan. Prinsip inilah yang banyak dipakai pada proses penghitungan dengan menggunakan bantuan komputasi komputer. Contoh lain penerapan prinsip ini adalah *Finite Element Analysis (FEA)* yang digunakan untuk menghitung tegangan yang terjadi pada benda solid.

### 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 mengkhususkan 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 (Faridl, 2010).

## 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 (Faridl, 2010).

#### 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 (Faridl, 2010).

#### 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 (Faridl, 2010).

## 2.7 Penelitian Sebelumnya

Penelitian tentang *micro combustion* telah banyak dilaksanakan oleh berbagai pihak, terutama tentang mekanisme pembakarannya. Untuk *combustor* sendiri telah banyak yang melakukan penelitian secara berlanjut, diantaranya penelitian yang menunjukkan jenis-jenis *combustor* dengan ukuran mikro untuk sistem *micro combustion*. Penelitian yang dilaksanakan oleh Maruta, (2011) menerangkan bahwa *micro combustor* secara garis besar dikelompokkan menjadi dua golongan yaitu *micro-scale combustor* dan *meso-scale combustor*. Pengelompokan tersebut berdasarkan besarnya celah pada ruang bakar. *Micro-scale combustor* memiliki celah ruang bakar yang berukuran kurang dari 1 mm. Sedangkan *meso-scale combustor* memiliki ukuran celah ruang bakar lebih dari 1 mm, akan tetapi karakteristik pembakaran masih menyerupai *micro combustion*.

Mikami *et al.* (2012) dalam penelitiannya tentang pengaruh diameter *combustor* yang divariasikan dengan bentuk silinder terhadap kestabilan api dan kecepatan pembakaran menyatakan bahwa semakin kecil ukuran dari *combustor*, maka kestabilan api juga semakin kecil. Keadaan ini karena laju kehilangan panasnya (*heat loss*) lebih tinggi sedangkan waktu nyala api yang sangat singkat akibat dari peningkatan volume dengan bertambahnya perbandingan luas permukaan.

Penelitian yang hampir sama dilaksanakan oleh Li *et al.* (2005) tentang pengaruh variasi ukuran diameter *combustor* dengan bentuk silinder terhadap temperturnya. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa semakin kecil ukuran diameter *combustor* maka temperatur yang dihasilkan juga semakin rendah. Hal tersebut disebabkan karena kehilangan panas yang lebih tinggi dan keterbatasan

waktu nyala api yang tidak memadai karena terkait dengan peningkatan perbandingan luas permukaan terhadap *volume*.

Yang *et al.* (2002) dalam penelitiannya tentang *combustor* menyatakan bahwa pembakaran yang dilakukan dalam sebuah *combustor* dapat stabil apabila diberikan *backward facing step* atau bisa disebut *sudden expansion*. Selain itu pada suatu *combustor* yang diberikan *sudden expansion* pencampuran bahan bakar dan udara bisa lebih ditingkatkan, begitu juga untuk waktu tinggal reaktan dalam reaksi pembakaran bisa lebih lama. *Sudden expansion* sendiri merupakan pembesaran diameter *combustor* dimana antara kedua sisi *combustor* yakni inlet dan outlet memiliki diameter yang berbeda. Dengan diameter outlet lebih besar daripada diameter inlet ( $D_{inlet} < D_{outlet}$ ).

Dengan kemampuan meningkatkan waktu tinggal reaktan dalam reaksi pembakaran, pemberian *sudden expansion* sangatlah menguntungkan. Hal ini dikarenakan apabila waktu tinggal reaktan lebih lama, dapat meningkatkan posisi api dan meningkatkan laju aliran serta mampu mensirkulasikan reaktan dalam pembakaran. Selain itu pemberian *sudden expansion* juga meningkatkan temperatur pada dinding *combustor*, sehingga diharapkan dengan temperatur yang lebih tinggi maka *combustor* akan lebih efektif.

## 2.8 Hipotesa

Hipotesa yang dapat peneliti rumuskan pada penelitian ini adalah apabila rasio perbandingan antara diameter masukan terhadap diameter keluaran semakin tinggi, maka aliran balik yang terjadi pada area *sudden expansion* akan semakin besar yang akan mengakibatkan perubahan terhadap fenomena kecepatan aliran (alirannya akan semakin lambat). Hal tersebut akan mempertahankan sirkulasi reaktan berada di dalam *combustor* sehingga komposisi reaktan (campuran udara dan bahan bakar) bisa lebih homogen karena proses reaksinya akan semakin lama berada di dalam *combustor*. Begitu juga untuk temperaturnya akan tertahan di dalam *combustor* sehingga distribusi temperaturnya dapat lebih merata ke seluruh bagian *combustor*.

## 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 Juni 2016. Sedangkan penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Jember.

### 3.3 Variabel Penelitian

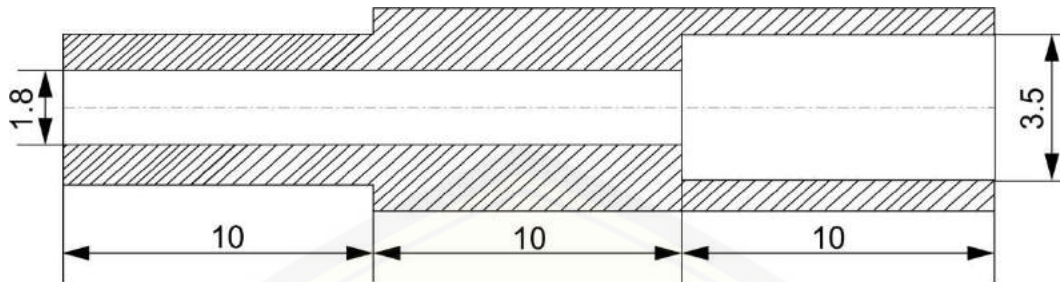
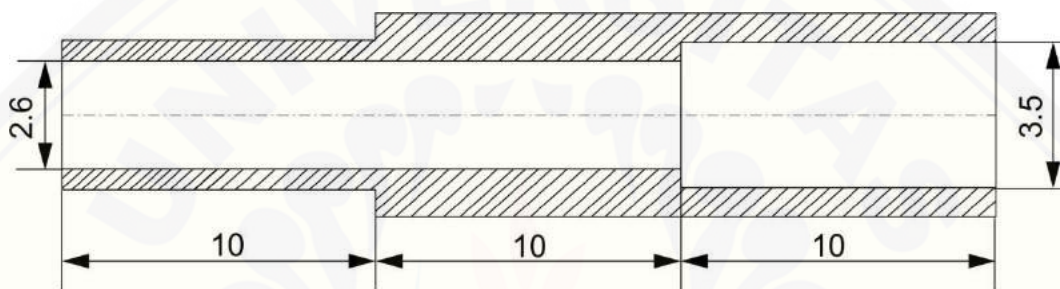
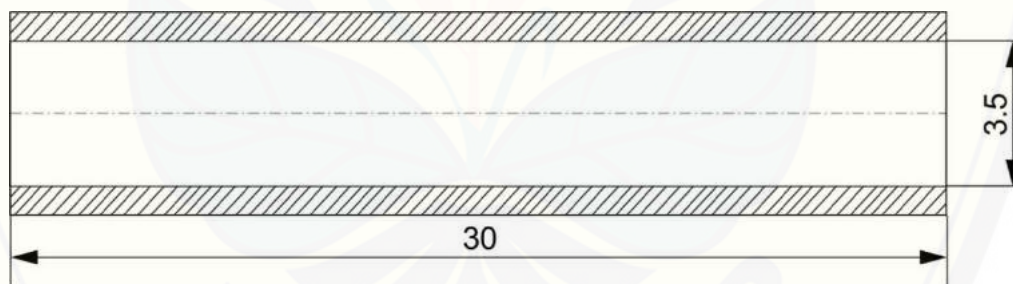
Variabel-variabel penelitian yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi dua jenis yaitu variabel bebas dan variabel terikat.

#### 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. Diameter *combustor* divariasikan pada diameter masukan sedangkan diameter keluaran dibuat tetap yaitu dengan diameter keluaran 3,5 mm dan variasi diameter masukan berturut-turut 50%, 75%, dan 100% atau 1,8 mm, 2,6 mm, dan 3,5 mm seperti tampak pada gambar berikut:



Gambar 3.1 Variasi diameter *inlet combustor* 1,8 mmGambar 3.2 Variasi diameter *inlet combustor* 2,6 mmGambar 3.3 Variasi diameter *inlet combustor* 3,5 mm

- b. Material yang digunakan dalam simulasi berupa fluida yaitu udara.
- c. Suhu yang digunakan adalah temperatur *default* pada *software* (300 °K).
- d. Data yang ditampilkan berupa gambar dan grafik.
- e. Input data berupa kecepatan aliran



### 3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung pada variasi variabel bebas. Berikut merupakan beberapa variabel yang dikategorikan dalam variabel terikat:

- a. Fenomena kecepatan aliran.
- b. Distribusi temperatur.

## 3.4 Alat dan Bahan

### 3.4.1 Alat

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

### 3.4.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data dari hasil pengamatan langsung terhadap *combustor* yang telah dilakukan pada peneliti yang lain. Data tersebut berupa kecepatan aliran fluida untuk masing-masing *combustor* yang ditunjukkan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kecepatan aliran fluida untuk seluruh *combustor*

Diameter <i>Combustor</i>	<i>Ekuivalence Ratio</i> ( $\Phi$ )	Kecepatan Aliran (m/s)
50 % (1,8/3,5 mm)	1,2	0,205
	1,15	0,205
	1,2	0,195
75 % (2,6/3,5 mm)	1,2	0,205
	1,2	0,215
	1,2	0,225
	1,25	0,205
	0,95	0,29
	1,06	0,26
100 % (3,5/3,5 mm)	1,06	0,29
	1,06	0,32
	1,17	0,29

Dari Tabel 3.1 dapat dilihat bahwa untuk masing-masing *combustor* memiliki kecepatan aliran dengan rasio ekuivalen yang berbeda-beda. Agar dapat membandingkan keseluruhan *combustor* maka perlu diambil nilai kecepatan yang sama dengan rasio ekuivalen yang sama pula. Namun untuk *combustor* 100 % tidak memiliki kecepatan dan nilai rasio ekuivalen yang sama dengan *combustor* 50 % dan 75 %, jadi untuk diameter *combustor* 100 % dilakukan penyesuaian agar dapat dibandingkan hasilnya dengan *combustor* yang lain, sehingga data yang dapat digunakan pada saat simulasi dapat sesuai seperti terlihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Kecepatan aliran fluida untuk seluruh *combustor* dengan rasio ekuivalen konstan

Diameter <i>Combustor</i>	<i>Ekuivalence Ratio</i> ( $\Phi$ )	Kecepatan Aliran (m/s)
50 % (1,8/3,5 mm)	1,2	0,205
75 % (2,6/3,5 mm)	1,2	0,205
100 % (3,5/3,5 mm)	1,2	0,205

### 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 ekstensi *\*.dbs*.
- e. Melakukan *export* data dengan format *\*.msh* agar dapat dibaca pada *software* CFD.

#### 3.5.2 Tahapan Simulasi dengan *Software* CFD

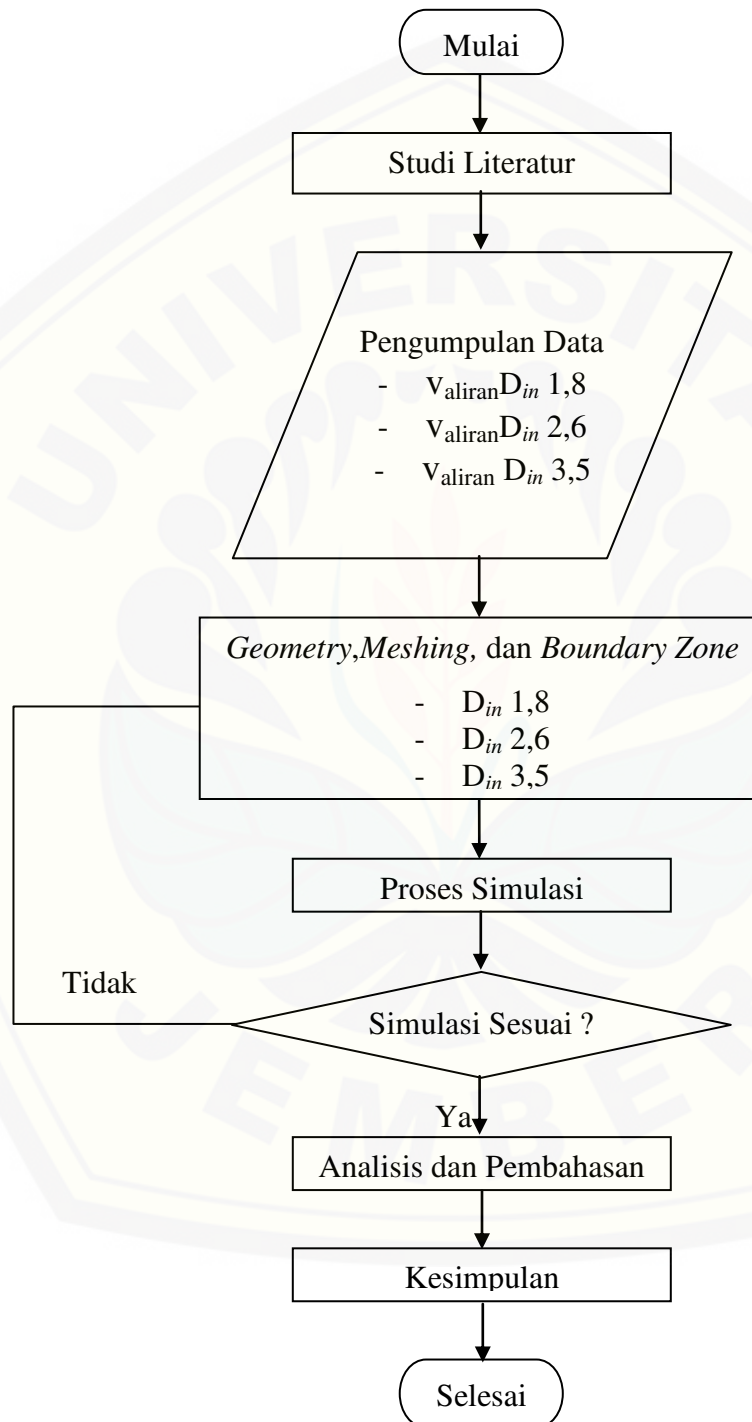
Pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan melakukan perhitungan numerik menggunakan *software* CFD dari data yang telah ada. Tahap-tahap yang dilaksanakan pada pengolahan data tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Melakukan pembacaan *file case* untuk *combustor* dengan ekstensi *\*.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 yaitu model *k-omega SST*.
- f. Menentukan jenis material yang digunakan yaitu udara.
- g. Menentukan daerah kerja (*operating condition*) sesuai dengan data yang telah diinput sebelumnya.
- h. Menentukan kondisi batas (*boundary condition*) dengan masukan data berupa kecepatan aliran fluida.
- i. Menentukan kontrol solusi dengan sesuai dengan metode perhitungan yang digunakan.
- j. Melakukan inisialisasi masukan data pada simulasi dengan inputan data berupa kecepatan aliran.
- k. Menentukan jenis monitor dengan model *residual* sesuai jenis benda kerja yang disimulasikan dan model perhitungan yang digunakan.
- l. Melakukan proses iterasi dengan jumlah yang banyak untuk mencegah konvergensi perhitungan terjadi pada jumlah iterasi yang cukup besar.
- m. Menyimpan hasil iterasi dalam bentuk gambar.
- n. Melakukan *display* hasil perhitungan pada simulasi dengan berdasarkan fenomena kecepatan aliran dan distribusi temperaturnya selanjutnya disimpan dalam bentuk gambar.
- o. Menyimpan data hasil simulasi dalam bentuk *case and data*.
- p. Melakukan analisa dari hasil iterasi dan hasil *display* simulasi yang telah dilakukan.
- q. Menentukan kesimpulan yang diperoleh dari analisa data simulasi yang telah dilakukan.
- r. Pembuatan laporan akhir.

### 3.6 Diagram Alir

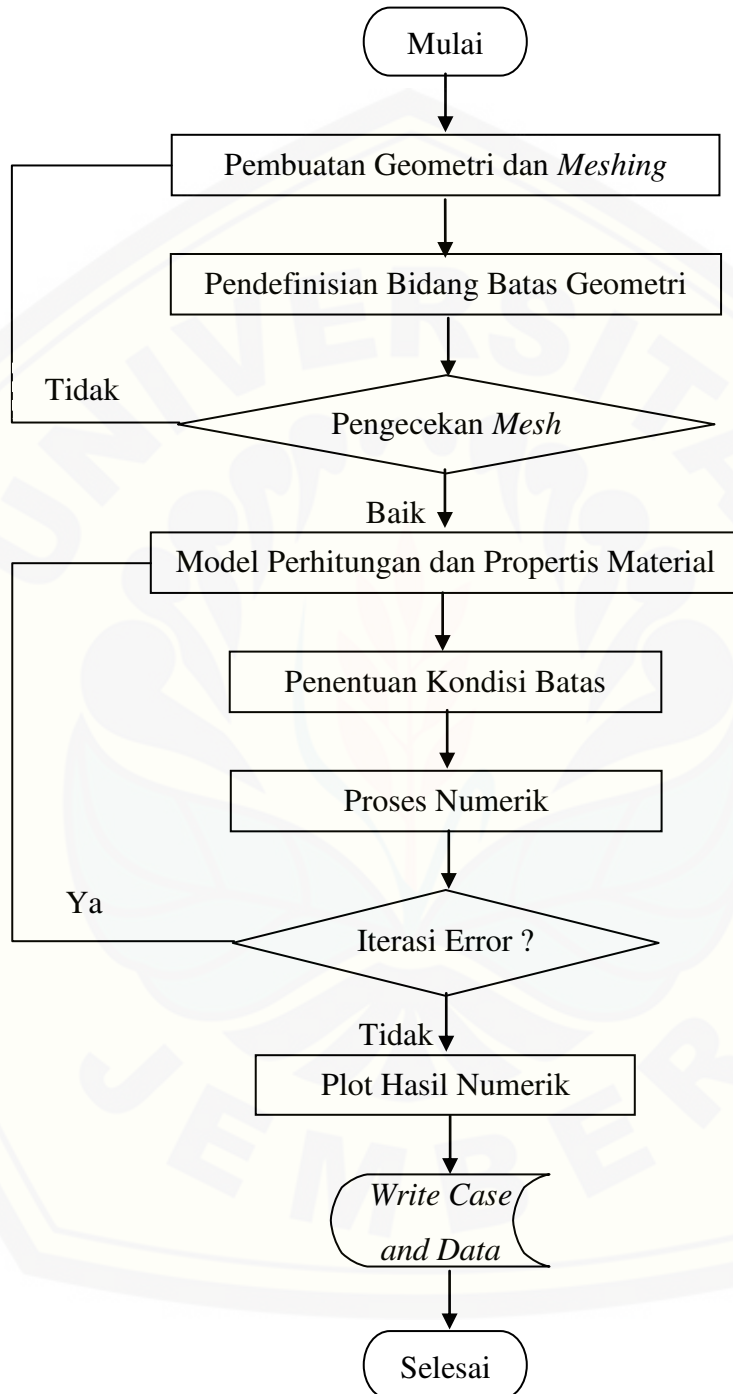
#### 3.6.1 Diagram Alir Langkah Kerja



Gambar 3.4 Diagram alir langkah kerja



## 3.6.2 Diagram Alir Simulasi



Gambar 3.5 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. Pemberian *sudden expansion* pada meso *combustor* menghasilkan suatu aliran balik yang dapat memperlambat aliran sehingga membuat campuran reaktan bertambah homogen.
- b. Rasio perbandingan 50 % (1,8/3,5 mm) memiliki fenomena kecepatan aliran yang baik pada *combustor* dengan penurunan kecepatan yang cukup besar. Rasio perbandingan 75 % (2,6/3,5 mm) memiliki fenomena kecepatan aliran yang kurang baik pada *combustor* dengan penurunan kecepatan yang tidak terlalu besar. Rasio perbandingan 100 % (3,5/3,5 mm) memiliki fenomena kecepatan aliran yang kurang baik pada *combustor* dikarenakan tidak mengalami penurunan kecepatan.
- c. Rasio perbandingan 50 % (1,8/3,5 mm) memiliki distribusi temperatur yang baik pada *combustor* dikarenakan distribusi temperatur lebih merata. Rasio perbandingan 75 % (2,6/3,5 mm) memiliki distribusi temperatur kurang baik pada *combustor* dikarenakan distribusi temperatur kurang merata. Rasio perbandingan 100 % (3,5/3,5 mm) memiliki hampir sama dengan *combustor* rasio perbandingan 75 % (2,6/3,5 mm) namun sedikit berbeda pada saat mendekati daerah output.

### 5.2 Saran

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

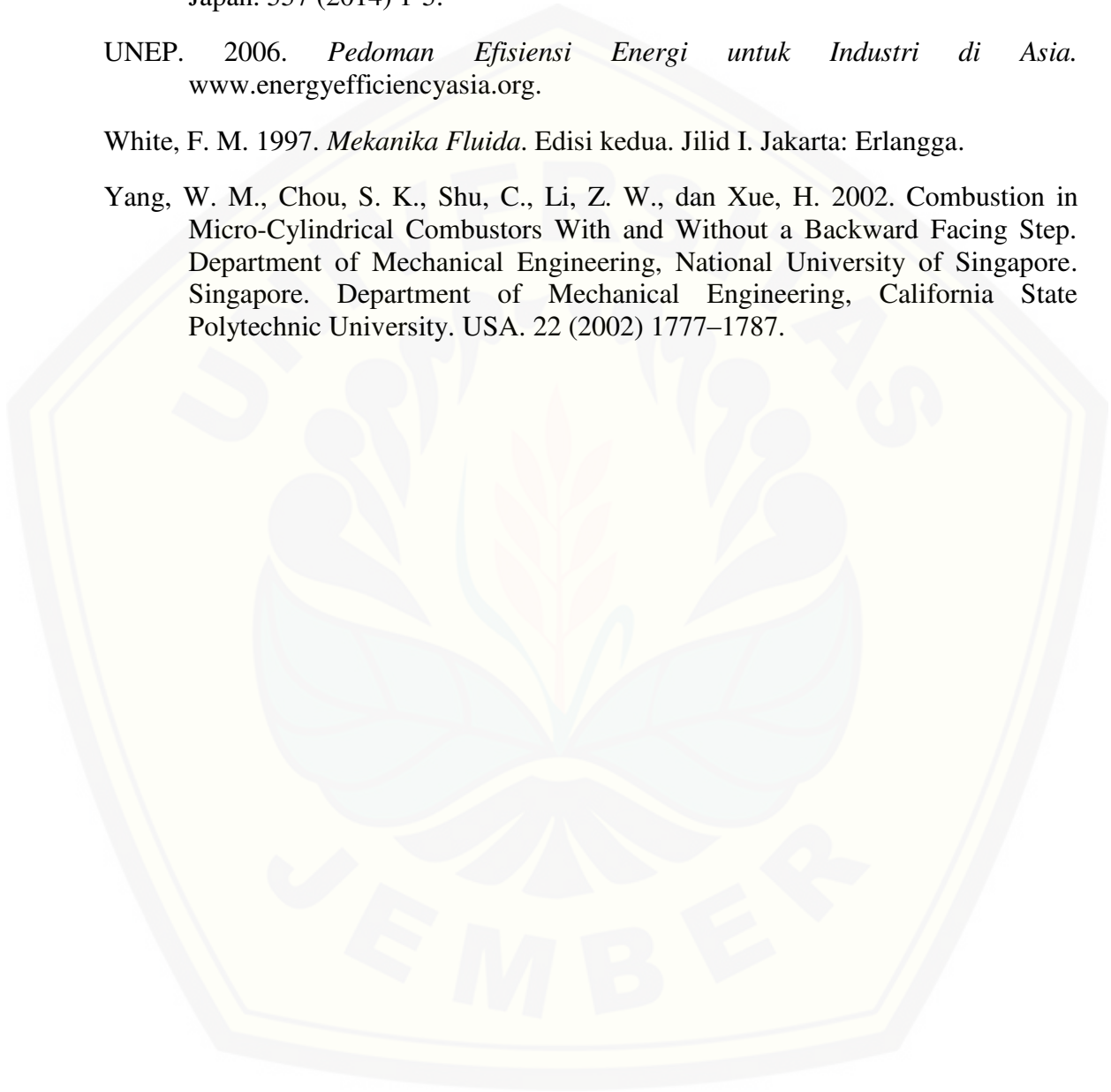
- a. Material yang digunakan sebaiknya merupakan material campuran reaktan yaitu antara bahan bakar dan udara agar hasil simulasi semakin akurat.

- b. Metode perhitungan sebaiknya menggunakan model *premixed combustion* agar suhu yang ditampilkan pada distribusi temperatur berupa temperatur pembakaran.
- c. *Hardware* yang digunakan dalam melakukan simulasi sebaiknya mempunyai spesifikasi yang tinggi agar tidak terjadi gangguan dan eror pada saat simulasi berjalan.
- d. Model perhitungan yang dilakukan dapat menggunakan metode lain yang lebih baik dengan menyesuaikan kondisi *hardware* yang dimiliki.
- e. Penelitian berikutnya diharapkan lebih ditingkatkan pada variabel penelitiannya hingga dapat diketahui output daripada *combustor* yang akan digunakan pada sistem *micro power generator* (MPG).

**DAFTAR PUSTAKA**

- Faridl, R. 2010. *Pengenalan CFD*. [https://ridwanfaridl.wordpress.com/2010/01/07/pengenalan -cfd/](https://ridwanfaridl.wordpress.com/2010/01/07/pengenalan-cfd/).
- Fernandez, A. C. dan Pello. 2002. Micropower Generation Using Combustion Issues And Approaches. Department of Mechanical Engineering University of California. Berkeley. USA. 29 (2002) 883-899.
- Maruta, K. 2011. Technology development and fundamental research. Tohoku University. Japan. 37(2011) 669-715.
- Mikami, Maeda, Matsui, Seo, dan Yuliati. 2012. Combustion of Gaseous and Liquid Fuels in Meso-Scale Tubes with Wire Mesh. Department of Mechanical Engineering. Yamaguchi University. Japan. Department of Mechanical Engineering, Brawijaya University. Indonesia. 34 (2013) 3387–3394.
- Moran, M. J. dan Shapiro, H. N. 2004. *Termodinamika Teknik*. Edisi Ke-4. Jakarta: Erlangga.
- Munson, B. R., Young, D. F., dan Okiishi, T. H. 2003. *Mekanika Fluida*. Edisi keempat. Jilid I. Jakarta: Erlangga.
- Nasri, M. F. A. dan Utomo, T. S. 2015. *Prediksi Konsumsi Bahan Bakar Minyak Untuk Kendaraan Darat Jalan Raya Sampai Tahun 2040 Menggunakan Software Leap*. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Pertamina. 2010. *Komposisi Elpiji Sesuai Spesifikasi & Standar Keselamatan*. <http://www.bumn.go.id/pertamina/berita/471/komposisi.elpiji.sesuai.spesifikasi.standar.keselamatan/>.
- Rosyid, A. 2014. *Fluida dan Sifat-sifatnya*. <https://mechanicals.wordpress.com/2014/03/23/fluida-dan-sifat-sifatnya/>.
- Sari, S. 2015. *Pengaruh Diameter Combustor Terhadap Karakteristik Pembakaran pada Meso-scale Combustor dengan Backward Facing Step*. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya. Malang.

- Shimokuri, D., Hara, T., dan Ishizuka, S.. 2014. Development of a portable power system with meso-scale vortex combustor and thermo-electric device. Hiroshima University, 1-4-1 Kagamiyama, Higashi-hiroshima, Hiroshima, Japan. 557 (2014) 1-5.
- UNEP. 2006. *Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia*. [www.energyefficiencyasia.org](http://www.energyefficiencyasia.org).
- White, F. M. 1997. *Mekanika Fluida*. Edisi kedua. Jilid I. Jakarta: Erlangga.
- Yang, W. M., Chou, S. K., Shu, C., Li, Z. W., dan Xue, H. 2002. Combustion in Micro-Cylindrical Combustors With and Without a Backward Facing Step. Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore. Singapore. Department of Mechanical Engineering, California State Polytechnic University. USA. 22 (2002) 1777–1787.





## LAMPIRAN

### A. *Summary Report Simulasi*

#### 1. Combustor 50 %

##### Models

-----

Model	Settings
Space	2D
Time	Steady
Viscous	k-omega turbulence model
Heat Transfer	Enabled
Solidification and Melting	Disabled
Radiation	None
Species Transport	Disabled
Coupled Dispersed Phase	Disabled
Pollutants	Disabled
Pollutants	Disabled
Soot	Disabled

##### Boundary Conditions

-----

##### Zones

name	id	type
fluid	2	fluid
downint	3	interior
upint	4	interior
out	5	outflow
down	6	wall
up	7	wall
in	8	velocity-inlet
default-interior	10	interior

##### Boundary Conditions

fluid

Condition

Value

-----  
-----  
Material Name  
air  
Specify source terms?  
no  
Source Terms  
(  
Specify fixed values?  
no  
Fixed Values  
(  
Motion Type  
0  
X-Velocity Of Zone (m/s)  
0  
Y-Velocity Of Zone (m/s)  
0  
Rotation speed (rad/s)  
0  
X-Origin of Rotation-Axis (mm)  
0  
Y-Origin of Rotation-Axis (mm)  
0  
Deactivated Thread  
no  
Laminar zone?  
no  
Set Turbulent Viscosity to zero within laminar zone?  
yes  
Porous zone?  
no  
X-Component of Direction-1 Vector  
1  
Y-Component of Direction-1 Vector  
0  
Relative Velocity Resistance Formulation?  
yes  
Direction-1 Viscous Resistance (1/m<sup>2</sup>)  
0  
Direction-2 Viscous Resistance (1/m<sup>2</sup>)  
0  
Choose alternative formulation for inertial  
resistance? no  
Direction-1 Inertial Resistance (1/m)  
0

```
Direction-2 Inertial Resistance (1/m)
0
C0 Coefficient for Power-Law
0
C1 Coefficient for Power-Law
0
Porosity
1
Solid Material Name
aluminum

downint
Condition Value
-----
upint
Condition Value
-----
out
Condition Value
-----
Flow rate weighting 1

down
Condition
Value
-----
Wall Thickness (mm)
0
Heat Generation Rate (w/m3)
0
Material Name
aluminum
Thermal BC Type
1
Temperature (k)
300
Heat Flux (w/m2)
0
Convective Heat Transfer Coefficient (w/m2-k)
0
```

Free Stream Temperature (k)  
300  
Wall Motion  
0  
Shear Boundary Condition  
0  
Define wall motion relative to adjacent cell zone?  
yes  
Apply a rotational velocity to this wall?  
no  
Velocity Magnitude (m/s)  
0  
X-Component of Wall Translation  
1  
Y-Component of Wall Translation  
0  
Define wall velocity components?  
no  
X-Component of Wall Translation (m/s)  
0  
Y-Component of Wall Translation (m/s)  
0  
External Emissivity  
1  
External Radiation Temperature (k)  
300  
Wall Roughness Height (mm)  
0  
Wall Roughness Constant  
0.5  
Rotation Speed (rad/s)  
0  
X-Position of Rotation-Axis Origin (mm)  
0  
Y-Position of Rotation-Axis Origin (mm)  
0  
X-component of shear stress (pascal)  
0  
Y-component of shear stress (pascal)  
0  
Surface tension gradient (n/m-k)  
0  
Specularity Coefficient  
0

up

Value	Condition
-----	-----
0	Wall Thickness (mm)
0	Heat Generation Rate (w/m3)
aluminum	Material Name
1	Thermal BC Type
300	Temperature (k)
0	Heat Flux (w/m2)
0	Convective Heat Transfer Coefficient (w/m2-k)
300	Free Stream Temperature (k)
0	Wall Motion
0	Shear Boundary Condition
yes	Define wall motion relative to adjacent cell zone?
no	Apply a rotational velocity to this wall?
0	Velocity Magnitude (m/s)
1	X-Component of Wall Translation
0	Y-Component of Wall Translation
no	Define wall velocity components?
0	X-Component of Wall Translation (m/s)
0	Y-Component of Wall Translation (m/s)
1	External Emissivity
300	External Radiation Temperature (k)
0	Wall Roughness Height (mm)



```

0.5 Wall Roughness Constant
0 Rotation Speed (rad/s)
0 X-Position of Rotation-Axis Origin (mm)
0 Y-Position of Rotation-Axis Origin (mm)
0 X-component of shear stress (pascal)
0 Y-component of shear stress (pascal)
0 Surface tension gradient (n/m-k)
0 Specularity Coefficient
0

```

in

Condition	Value
Velocity Specification Method	2
Reference Frame	0
Velocity Magnitude (m/s)	0.205
X-Velocity (m/s)	0
Y-Velocity (m/s)	0
X-Component of Flow Direction	1
Y-Component of Flow Direction	0
X-Component of Axis Direction	1
Y-Component of Axis Direction	0
Z-Component of Axis Direction	0
X-Coordinate of Axis Origin (mm)	0
Y-Coordinate of Axis Origin (mm)	0
Z-Coordinate of Axis Origin (mm)	0
Angular velocity (rad/s)	0
Temperature (k)	300
Turbulent Specification Method	0
Turbulent Kinetic Energy (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	1
Specific Dissipation Rate (1/s)	1
Turbulent Intensity (%)	0.1
Turbulent Length Scale (mm)	1
Hydraulic Diameter (mm)	1
Turbulent Viscosity Ratio	10
is zone used in mixing-plane model?	no

default-interior

Condition Value

Solver Controls

Equations

Equation	Solved
Flow	yes
Turbulence	yes
Energy	yes

Numerics

Numeric	Enabled
Absolute Velocity Formulation	yes

Relaxation

Variable	Relaxation Factor
Pressure	0.30000001
Density	1
Body Forces	1
Momentum	0.69999999
Turbulent Kinetic Energy	0.80000001
Specific Dissipation Rate	0.80000001
Turbulent Viscosity	1
Energy	1

Linear Solver

Residual Reduction Variable	Tolerance	Solver Type	Termination Criterion
Pressure		V-Cycle	0.1
X-Momentum		Flexible	0.1 0.7
Y-Momentum		Flexible	0.1 0.7
Turbulent Kinetic Energy		Flexible	0.1 0.7
Specific Dissipation Rate		Flexible	0.1 0.7
Energy		Flexible	0.1 0.7

## Pressure-Velocity Coupling

Parameter	Value
Type	SIMPLE

## Discretization Scheme

Variable	Scheme
Pressure	Standard
Momentum	Second Order Upwind
Turbulent Kinetic Energy	Second Order Upwind
Specific Dissipation Rate	Second Order Upwind
Energy	Second Order Upwind

## Solution Limits

Quantity	Limit
Minimum Absolute Pressure	1
Maximum Absolute Pressure	5e+10
Minimum Temperature	1
Maximum Temperature	5000
Minimum Turb. Kinetic Energy	1e-14
Minimum Spec. Dissipation Rate	1e-20
Maximum Turb. Viscosity Ratio	100000

## Material Properties

Material: air (fluid)

Property	Units	Method
Density	kg/m <sup>3</sup>	constant
1.225		
C <sub>p</sub> (Specific Heat)	J/kg-K	constant
1006.43		
Thermal Conductivity	W/m-K	constant
0.0242		
Viscosity	kg/m-s	constant
1.7894001e-05		

28.966	Molecular Weight	kg/kgmol	constant	
3.711	L-J Characteristic Length	angstrom	constant	
78.6	L-J Energy Parameter	k	constant	
	Thermal Expansion Coefficient	1/k	constant	0
	Degrees of Freedom		constant	0
	Speed of Sound	m/s	none	#f

Material: aluminum (solid)

Property	Units	Method	Value (s)
Density	kg/m3	constant	2719
Cp (Specific Heat)	j/kg-k	constant	871
Thermal Conductivity	w/m-k	constant	202.4

## 2. Combustor 75 %

Models

-----

Model	Settings
Space	2D
Time	Steady
Viscous	k-omega turbulence model
Heat Transfer	Enabled
Solidification and Melting	Disabled
Radiation	None
Species Transport	Disabled
Coupled Dispersed Phase	Disabled
Pollutants	Disabled
Pollutants	Disabled
Soot	Disabled

Boundary Conditions

-----

Zones

name	id	type
fluid	2	fluid

out	3	outflow
in	4	velocity-inlet
downint	5	interior
upint	6	interior
down	7	wall
up	8	wall
default-interior	10	interior

## Boundary Conditions

fluid

Value	Condition
	-----
	Material Name
air	
	Specify source terms?
no	
	Source Terms
()	
	Specify fixed values?
no	
	Fixed Values
()	
	Motion Type
0	
	X-Velocity Of Zone (m/s)
0	
	Y-Velocity Of Zone (m/s)
0	
	Rotation speed (rad/s)
0	
	X-Origin of Rotation-Axis (mm)
0	
	Y-Origin of Rotation-Axis (mm)
0	
	Deactivated Thread
no	
	Laminar zone?
no	
	Set Turbulent Viscosity to zero within laminar zone?
yes	
	Porous zone?
no	



```
X-Component of Direction-1 Vector
1
Y-Component of Direction-1 Vector
0
Relative Velocity Resistance Formulation?
yes
Direction-1 Viscous Resistance (1/m2)
0
Direction-2 Viscous Resistance (1/m2)
0
Choose alternative formulation for inertial
resistance? no
Direction-1 Inertial Resistance (1/m)
0
Direction-2 Inertial Resistance (1/m)
0
C0 Coefficient for Power-Law
0
C1 Coefficient for Power-Law
0
Porosity
1
Solid Material Name
aluminum
out
Condition          Value
-----
Flow rate weighting  1
in
Condition          Value
-----
Velocity Specification Method  2
Reference Frame      0
Velocity Magnitude (m/s)    0.205
X-Velocity (m/s)      0
Y-Velocity (m/s)      0
X-Component of Flow Direction  1
Y-Component of Flow Direction  0
X-Component of Axis Direction  1
Y-Component of Axis Direction  0
Z-Component of Axis Direction  0
X-Coordinate of Axis Origin (mm)  0
Y-Coordinate of Axis Origin (mm)  0
```

```
Z-Coordinate of Axis Origin (mm)      0
Angular velocity (rad/s)              0
Temperature (k)                       300
Turbulent Specification Method        0
Turbulent Kinetic Energy (m2/s2)     1
Specific Dissipation Rate (1/s)      1
Turbulent Intensity (%)               0.1
Turbulent Length Scale (mm)          1
Hydraulic Diameter (mm)              1
Turbulent Viscosity Ratio             10
is zone used in mixing-plane model?  no
```

downint

```
Condition  Value
-----
```

upint

```
Condition  Value
-----
```

down

```
Value
-----
```

```
Wall Thickness (mm)
0
Heat Generation Rate (w/m3)
0
Material Name
aluminum
Thermal BC Type
1
Temperature (k)
300
Heat Flux (w/m2)
0
Convective Heat Transfer Coefficient (w/m2-k)
0
Free Stream Temperature (k)
300
Wall Motion
0
```

Shear Boundary Condition  
0  
Define wall motion relative to adjacent cell zone?  
yes  
Apply a rotational velocity to this wall?  
no  
Velocity Magnitude (m/s)  
0  
X-Component of Wall Translation  
1  
Y-Component of Wall Translation  
0  
Define wall velocity components?  
no  
X-Component of Wall Translation (m/s)  
0  
Y-Component of Wall Translation (m/s)  
0  
External Emissivity  
1  
External Radiation Temperature (k)  
300  
Wall Roughness Height (mm)  
0  
Wall Roughness Constant  
0.5  
Rotation Speed (rad/s)  
0  
X-Position of Rotation-Axis Origin (mm)  
0  
Y-Position of Rotation-Axis Origin (mm)  
0  
X-component of shear stress (pascal)  
0  
Y-component of shear stress (pascal)  
0  
Surface tension gradient (n/m-k)  
0  
Specularity Coefficient  
0

up

Condition

Value

-----  
-----

Wall Thickness (mm)  
0  
Heat Generation Rate (w/m3)  
0  
Material Name  
aluminum  
Thermal BC Type  
1  
Temperature (k)  
300  
Heat Flux (w/m2)  
0  
Convective Heat Transfer Coefficient (w/m2-k)  
0  
Free Stream Temperature (k)  
300  
Wall Motion  
0  
Shear Boundary Condition  
0  
Define wall motion relative to adjacent cell zone?  
yes  
Apply a rotational velocity to this wall?  
no  
Velocity Magnitude (m/s)  
0  
X-Component of Wall Translation  
1  
Y-Component of Wall Translation  
0  
Define wall velocity components?  
no  
X-Component of Wall Translation (m/s)  
0  
Y-Component of Wall Translation (m/s)  
0  
External Emissivity  
1  
External Radiation Temperature (k)  
300  
Wall Roughness Height (mm)  
0  
Wall Roughness Constant  
0.5  
Rotation Speed (rad/s)  
0

0 X-Position of Rotation-Axis Origin (mm)  
0 Y-Position of Rotation-Axis Origin (mm)  
0 X-component of shear stress (pascal)  
0 Y-component of shear stress (pascal)  
0 Surface tension gradient (n/m-k)  
0 Specularity Coefficient

default-interior

Condition	Value
-----------	-------

## Solver Controls

### Equations

Equation	Solved
Flow	yes
Turbulence	yes
Energy	yes

### Numerics

Numeric	Enabled
Absolute Velocity Formulation	yes

### Relaxation

Variable	Relaxation Factor
Pressure	0.30000001
Density	1
Body Forces	1
Momentum	0.69999999
Turbulent Kinetic Energy	0.80000001
Specific Dissipation Rate	0.80000001
Turbulent Viscosity	1
Energy	1



## Linear Solver

Residual Reduction Variable Tolerance	Solver Type	Termination Criterion	
----- -----			
Pressure	V-Cycle	0.1	
X-Momentum	Flexible	0.1	0.7
Y-Momentum	Flexible	0.1	0.7
Turbulent Kinetic Energy	Flexible	0.1	0.7
Specific Dissipation Rate	Flexible	0.1	0.7
Energy	Flexible	0.1	0.7

## Pressure-Velocity Coupling

Parameter	Value
----- Type	SIMPLE

## Discretization Scheme

Variable	Scheme
----- Pressure	Standard
Momentum	Second Order Upwind
Turbulent Kinetic Energy	Second Order Upwind
Specific Dissipation Rate	Second Order Upwind
Energy	Second Order Upwind

## Solution Limits

Quantity	Limit
----- Minimum Absolute Pressure	1
Maximum Absolute Pressure	5e+10
Minimum Temperature	1
Maximum Temperature	5000
Minimum Turb. Kinetic Energy	1e-14
Minimum Spec. Dissipation Rate	1e-20
Maximum Turb. Viscosity Ratio	100000

## Material Properties

-----

Material: air (fluid)

Property	Units	Method	
Value (s)			
Density	kg/m <sup>3</sup>	constant	
1.225			
Cp (Specific Heat)	J/kg-K	constant	
1006.43			
Thermal Conductivity	W/m-K	constant	
0.0242			
Viscosity	kg/m-s	constant	
1.7894001e-05			
Molecular Weight	kg/kgmol	constant	
28.966			
L-J Characteristic Length	Angstrom	constant	
3.711			
L-J Energy Parameter	K	constant	
78.6			
Thermal Expansion Coefficient	1/K	constant	0
Degrees of Freedom		constant	0
Speed of Sound	m/s	none	#f

Material: aluminum (solid)

Property	Units	Method	Value (s)
Density	kg/m <sup>3</sup>	constant	2719
Cp (Specific Heat)	J/kg-K	constant	871
Thermal Conductivity	W/m-K	constant	202.4

### 3. Combustor 100 %

#### Models

-----

Model	Settings
Space	2D
Time	Steady
Viscous	k-omega turbulence model

Heat Transfer	Enabled
Solidification and Melting	Disabled
Radiation	None
Species Transport	Disabled
Coupled Dispersed Phase	Disabled
Pollutants	Disabled
Pollutants	Disabled
Soot	Disabled

## Boundary Conditions

---

### Zones

name	id	type
fluid	2	fluid
in	3	velocity-inlet
down	4	wall
up	5	wall
out	6	outflow
default-interior	8	interior

### Boundary Conditions

fluid

Value	Condition
-------	-----------

---

air	Material Name
no	Specify source terms?
( )	Source Terms
no	Specify fixed values?
( )	Fixed Values
0	Motion Type
0	X-Velocity Of Zone (m/s)
0	Y-Velocity Of Zone (m/s)
0	

0 Rotation speed (rad/s)  
 0 X-Origin of Rotation-Axis (mm)  
 0 Y-Origin of Rotation-Axis (mm)  
 0 Deactivated Thread  
 no  
 no Laminar zone?  
 no  
 yes Set Turbulent Viscosity to zero within laminar zone?  
 yes  
 no Porous zone?  
 no  
 1 X-Component of Direction-1 Vector  
 1 Y-Component of Direction-1 Vector  
 0  
 0 Relative Velocity Resistance Formulation?  
 yes  
 0 Direction-1 Viscous Resistance (1/m<sup>2</sup>)  
 0 Direction-2 Viscous Resistance (1/m<sup>2</sup>)  
 0  
 resistance? no Choose alternative formulation for inertial  
 0 Direction-1 Inertial Resistance (1/m)  
 0 Direction-2 Inertial Resistance (1/m)  
 0  
 0 C0 Coefficient for Power-Law  
 0  
 0 C1 Coefficient for Power-Law  
 0  
 1 Porosity  
 1  
 aluminum Solid Material Name  
 in

Condition	Value
Velocity Specification Method	2
Reference Frame	0
Velocity Magnitude (m/s)	0.205
X-Velocity (m/s)	0

```

Y-Velocity (m/s) 0
X-Component of Flow Direction 1
Y-Component of Flow Direction 0
X-Component of Axis Direction 1
Y-Component of Axis Direction 0
Z-Component of Axis Direction 0
X-Coordinate of Axis Origin (mm) 0
Y-Coordinate of Axis Origin (mm) 0
Z-Coordinate of Axis Origin (mm) 0
Angular velocity (rad/s) 0
Temperature (k) 300
Turbulent Specification Method 0
Turbulent Kinetic Energy (m2/s2) 1
Specific Dissipation Rate (1/s) 1
Turbulent Intensity (%) 0.1
Turbulent Length Scale (mm) 1
Hydraulic Diameter (mm) 1
Turbulent Viscosity Ratio 10
is zone used in mixing-plane model? no

```

down

Value	Condition
-----	-----
0	Wall Thickness (mm)
0	Heat Generation Rate (w/m3)
aluminum	Material Name
1	Thermal BC Type
300	Temperature (k)
0	Heat Flux (w/m2)
0	Convective Heat Transfer Coefficient (w/m2-k)
300	Free Stream Temperature (k)
0	Wall Motion
0	Shear Boundary Condition



yes Define wall motion relative to adjacent cell zone?  
no Apply a rotational velocity to this wall?  
0 Velocity Magnitude (m/s)  
1 X-Component of Wall Translation  
0 Y-Component of Wall Translation  
no Define wall velocity components?  
0 X-Component of Wall Translation (m/s)  
0 Y-Component of Wall Translation (m/s)  
1 External Emissivity  
300 External Radiation Temperature (k)  
0 Wall Roughness Height (mm)  
0.5 Wall Roughness Constant  
0 Rotation Speed (rad/s)  
0 X-Position of Rotation-Axis Origin (mm)  
0 Y-Position of Rotation-Axis Origin (mm)  
0 X-component of shear stress (pascal)  
0 Y-component of shear stress (pascal)  
0 Surface tension gradient (n/m-k)  
0 Specularity Coefficient

up

Condition  
Value -----  
-----  
Wall Thickness (mm)  
0

Heat Generation Rate (w/m3)  
0  
Material Name  
aluminum  
Thermal BC Type  
1  
Temperature (k)  
300  
Heat Flux (w/m2)  
0  
Convective Heat Transfer Coefficient (w/m2-k)  
0  
Free Stream Temperature (k)  
300  
Wall Motion  
0  
Shear Boundary Condition  
0  
Define wall motion relative to adjacent cell zone?  
yes  
Apply a rotational velocity to this wall?  
no  
Velocity Magnitude (m/s)  
0  
X-Component of Wall Translation  
1  
Y-Component of Wall Translation  
0  
Define wall velocity components?  
no  
X-Component of Wall Translation (m/s)  
0  
Y-Component of Wall Translation (m/s)  
0  
External Emissivity  
1  
External Radiation Temperature (k)  
300  
Wall Roughness Height (mm)  
0  
Wall Roughness Constant  
0.5  
Rotation Speed (rad/s)  
0  
X-Position of Rotation-Axis Origin (mm)  
0

0 Y-Position of Rotation-Axis Origin (mm)  
0 X-component of shear stress (pascal)  
0 Y-component of shear stress (pascal)  
0 Surface tension gradient (n/m-k)  
0 Specularity Coefficient  
0

out

Condition	Value
Flow rate weighting	1

default-interior

Condition	Value
-----------	-------

Solver Controls

Equations

Equation	Solved
Flow	yes
Turbulence	yes
Energy	yes

Numerics

Numeric	Enabled
Absolute Velocity Formulation	yes

Relaxation

Variable	Relaxation Factor
Pressure	0.30000001
Density	1
Body Forces	1
Momentum	0.69999999

```

Turbulent Kinetic Energy    0.80000001
Specific Dissipation Rate   0.80000001
Turbulent Viscosity        1
Energy                      1
    
```

## Linear Solver

Residual Reduction Variable Tolerance	Solver Type	Termination Criterion	
Pressure	V-Cycle	0.1	
X-Momentum	Flexible	0.1	0.7
Y-Momentum	Flexible	0.1	0.7
Turbulent Kinetic Energy	Flexible	0.1	0.7
Specific Dissipation Rate	Flexible	0.1	0.7
Energy	Flexible	0.1	0.7

## Pressure-Velocity Coupling

Parameter	Value
Type	SIMPLE

## Discretization Scheme

Variable	Scheme
Pressure	Standard
Momentum	Second Order Upwind
Turbulent Kinetic Energy	Second Order Upwind
Specific Dissipation Rate	Second Order Upwind
Energy	Second Order Upwind

## Solution Limits

Quantity	Limit
Minimum Absolute Pressure	1
Maximum Absolute Pressure	5e+10
Minimum Temperature	1
Maximum Temperature	5000
Minimum Turb. Kinetic Energy	1e-14
Minimum Spec. Dissipation Rate	1e-20
Maximum Turb. Viscosity Ratio	100000

## Material Properties

-----

Material: air (fluid)

Property	Units	Method	
Value (s)			
Density	kg/m <sup>3</sup>	constant	
1.225			
Cp (Specific Heat)	J/kg-K	constant	
1006.43			
Thermal Conductivity	W/m-K	constant	
0.0242			
Viscosity	kg/m-s	constant	
1.7894001e-05			
Molecular Weight	kg/kgmol	constant	
28.966			
L-J Characteristic Length	angstrom	constant	
3.711			
L-J Energy Parameter	k	constant	
78.6			
Thermal Expansion Coefficient	1/K	constant	0
Degrees of Freedom		constant	0
Speed of Sound	m/s	none	#f

Material: aluminum (solid)

Property	Units	Method	Value (s)
Density	kg/m <sup>3</sup>	constant	2719
Cp (Specific Heat)	J/kg-K	constant	871
Thermal Conductivity	W/m-K	constant	202.4

**B. Data Hasil Simulasi Fenomena Kecepatan Aliran**

Panjang (mm)	Kecepatan Aliran (m/s)					
	Combustor 50 %		Combustor 75 %		Combustor 100 %	
	Minimal	Maksimal	Minimal	Maksimal	Minimal	Maksimal
0	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205	0.205
1	0	0.248622	0	0.23509	0	0.224972
2	0	0.279903	0	0.25351	0	0.231551
3	0	0.293921	0	0.26942	0	0.246571
4	0	0.299801	0	0.28003	0	0.258837
5	0	0.302073	0	0.28773	0	0.268007
6	0	0.302895	0	0.29334	0	0.275587
7	0	0.303175	0	0.29729	0	0.282201
8	0	0.303268	0	0.29995	0	0.288093
9	0	0.3033	0	0.30167	0	0.293358
10	0	0.303312	0	0.30275	0	0.29803
11	0	0.303318	0	0.30341	0	0.302124
12	0	0.303323	0	0.30381	0	0.305653
13	0	0.303328	0	0.30404	0	0.308636
14	0	0.303333	0	0.30418	0	0.311104
15	0	0.303339	0	0.30426	0	0.313096
16	0	0.303344	0	0.30431	0	0.314661
17	0	0.30335	0	0.30434	0	0.31585
18	0	0.303342	0	0.30431	0	0.316721
19	0	0.302879	0	0.30344	0	0.317332
20	0	0.291671	0	0.29563	0	0.317739
21	0	0.24707	0	0.27443	0	0.317996
22	0	0.206899	0	0.25538	0	0.318148
23	0	0.182376	0	0.24369	0	0.318233
24	0	0.169384	0	0.23698	0	0.318279
25	0	0.163092	0	0.23264	0	0.318301
26	0	0.160343	0	0.22656	0	0.318313
27	0	0.159767	0	0.2226	0	0.318326
28	0	0.202779	0	0.41581	0	0.318374
29	0	0.318344	0	0.51469	0	0.318619
30	0.006	0.40839	0.01104	0.52262	0.066545	0.318712



**C. Data Hasil Simulasi Distribusi Temperatur**

Panjang (mm)	Distribusi Temperatur (°C)		
	Combustor 50 %	Combustor 75 %	Combustor 100 %
0	26.85	26.85	26.85
1	26.85	26.85	26.85
2	26.85	26.85	26.85
3	26.85	26.85	26.85
4	26.85	26.85	26.85
5	26.85	26.85	26.85
6	26.85	26.85	26.85
7	26.85	26.85	26.85
8	26.85	26.85	26.85
9	26.85	26.85	26.85
10	26.85	26.85	26.85
11	26.85	26.85	26.85
12	26.85	26.85	26.85
13	26.851	26.85	26.85
14	26.851	26.85	26.85
15	26.851	26.85	26.85
16	26.851	26.851	26.851
17	26.851	26.851	26.851
18	26.851	26.851	26.851
19	26.851	26.851	26.851
20	26.851	26.851	26.851
21	26.851	26.851	26.851
22	26.852	26.851	26.851
23	26.852	26.851	26.851
24	26.852	26.851	26.851
25	26.852	26.851	26.851
26	26.852	26.852	26.851
27	26.852	26.852	26.852
28	26.852	26.852	26.852
29	26.852	26.852	26.852
30	26.852	26.852	26.852