



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PERUBAHAN LAJU ALIRAN MASSA LPG PADA
SISTEM CATU BAHAN BAKAR KOMPOR GAS DENGAN
VARIASI SUDUT KEMIRINGAN TABUNG**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik

Setya Wijayanta

1006788555

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KEKHUSUSAN MESIN KONVERSI ENERGI
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Setya Wijayanta

NPM : 1006788555

Tanda Tangan : 

Tanggal : 6 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Setya Wijayanta
NPM : 1006788555
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tesis : Analisis Perubahan Laju Aliran Massa LPG pada
Sistem Catu Bahan Bakar Kompor Gas dengan
Variasi Sudut Kemiringan Tabung

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. I Made Kartika Dhiputra, Dipl.-Ing

Penguji 1 : Prof. Ir. Yulianto Sulistyono Nugroho, M.Sc., Ph.D

Penguji 2 : Dr. Ir. Adi Suryosatyo, M.Eng

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Juli 2012

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Departemen Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Prof. Dr. I Made Kartika Dhiputra, Dipl.-Ing selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini.
- (2) Pihak Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Perhubungan, Kementerian Perhubungan yang telah memberikan kesempatan dan beasiswa kepada saya untuk menempuh pendidikan S2 di Universitas Indonesia
- (3) Istri dan anak-anak saya yang telah setia menemani saya dalam suka maupun duka.
- (4) Orang tua dan kakak-kakak saya yang telah memberikan bantuan motivasi dan semangat.
- (5) Teman-teman satu tim (Mas Irvan, Gunawan, Dea dan Emanuel) yang telah banyak membantu saya dalam pengambilan data.
- (6) Pak Fajri dan Mas Hendar yang banyak memberikan masukan dalam penyusunan tesis.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 6 Juli 2012

Penulis
Universitas Indonesia

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Setya Wijayanta
NPM : 1006788555
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**ANALISIS PERUBAHAN LAJU ALIRAN MASSA LPG PADA SISTEM
CATU BAHAN BAKAR KOMPOR GAS DENGAN VARIASI SUDUT
KEMIRINGAN TABUNG**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 6 Juli 2012

Yang menyatakan



(Setya Wijayanta)

v

Universitas Indonesia

ABSTRAK

Nama : Setya Wijayanta

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Analisis Perubahan Laju Aliran Massa LPG pada Sistem Catu Bahan Bakar Kompor Gas dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa perubahan laju aliran massa LPG yang terjadi pada sistem catu bahan bakar kompor gas akibat adanya sumbatan uap (*vapor lock*) dengan variasi sudut kemiringan tabung LPG. Penelitian ini difokuskan pada aliran LPG di sepanjang selang yang disimulasikan menggunakan pipa acrylic. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dan simulasi CFD menggunakan *solidwork flow simulation 2012*. Eksperimen dilakukan untuk mengetahui perubahan laju aliran massa LPG terhadap waktu. Simulasi dilakukan untuk mengetahui perubahan densitas dan kecepatan di sepanjang pipa acrylic.

Dari hasil eksperimen menggunakan regulator dengan diameter outlet 3 dan 3.25 mm, pada sudut kemiringan tabung 90 derajat terjadi regulator *lock up* masing-masing pada menit ke-143 dan 95. Untuk regulator dengan diameter outlet 3.5 mm, pada sudut kemiringan tabung 90 derajat terjadi penurunan laju aliran massa yang sangat tajam pada menit ke-95, namun tidak terjadi *lock up*. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa pada sudut kemiringan tabung 90 derajat terjadi penurunan densitas LPG yang tajam di sepanjang pipa acrylic. Hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan volume spesifik yang tajam sehingga terjadi ekspansi volume yang menimbulkan sumbatan uap (*vapor lock*) disepanjang pipa. Sumbatan uap inilah yang mengakibatkan terjadinya penurunan kecepatan aliran LPG di sepanjang pipa. Penurunan densitas dan kecepatan tersebut mengakibatkan terjadinya perubahan laju aliran massa LPG di sepanjang pipa. Fenomena sumbatan uap ini yang mengakibatkan terjadinya *lock up* pada regulator dengan diameter outlet 3 dan 3.25 mm. Untuk regulator dengan diameter outlet 3.5 mm, sumbatan uap yang terjadi tidak sampai menyebabkan *lock up*, karena laju aliran massa LPG paling tinggi dibandingkan 2 regulator lainnya sehingga mampu mengatasi sumbatan uap di sepanjang pipa.

Kata Kunci: *LPG, Vapor Lock, Laju Aliran Massa, Lock Up*

ABSTRACT

Name : Setya Wijayanta

Study Program: Mechanical Engineering

Title : Analysis of LPG Mass Flow Rate Changes on Gas Stove
Fuel Supply System with Variation of Tubes Inclination Angle

This study aims to analyze the mass flow rate changes of LPG that occur in the gas stove fuel supply system due to blockage of vapor (vapor lock) with variation of tubes inclination angle. This study focused on the flow of LPG in hose throughout a simulated using acrylic pipe. This study uses experimental and CFD simulations using flow simulation solidwork 2012. Experiments conducted to determine the mass flow rate changes of LPG with time. Simulations performed to determine changes in density and velocity along the acrylic pipe.

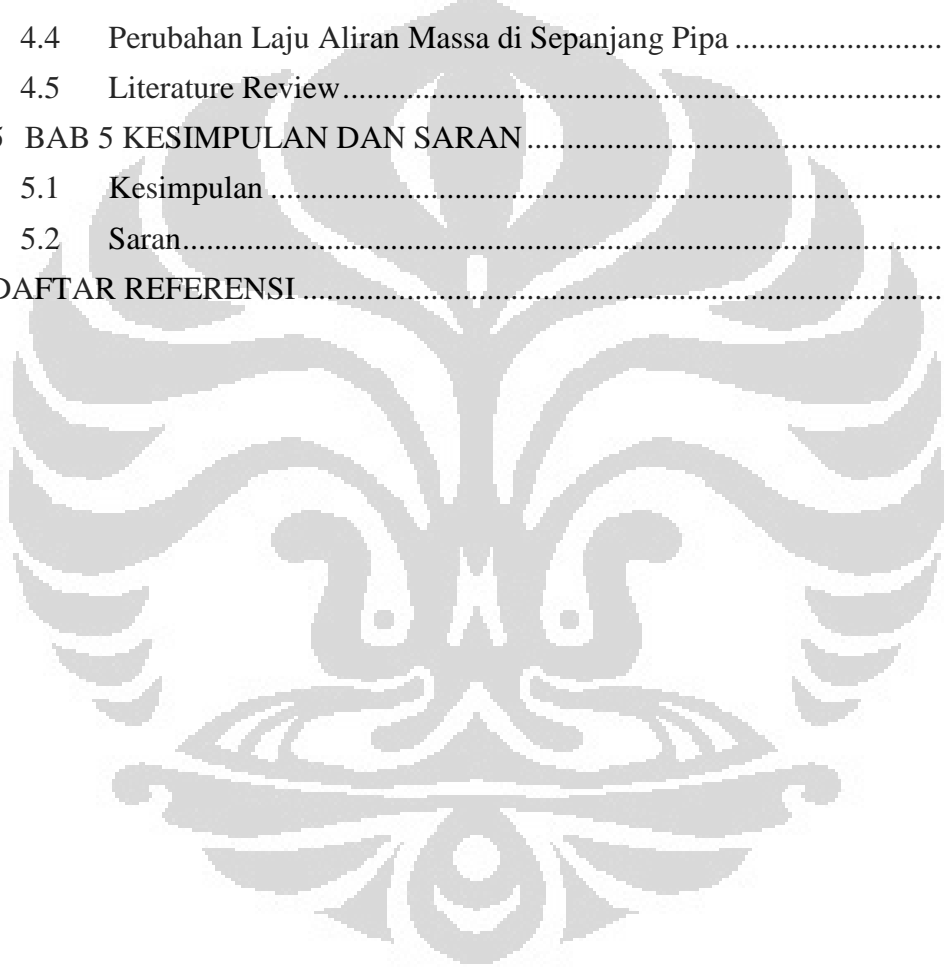
In experiments using a regulator with an outlet diameter 3 and 3.25 mm, at the tilt angle of tube at 90 degrees, occurred regulator lock up respectively at minute 143 and 95. For the regulator with an outlet diameter 3.5 mm, the tilt angle of tube at 90 degrees, the mass flow rate decreased very sharply at the 95th minute, but there was no lock up. The results of simulations show that at the tilt angle of tube at 90 degrees occurs a sharp decrease in the density of LPG along the acrylic pipe. This led to a sharp increase in specific volume resulting in volume expansion leading to blockage of vapor (vapor lock) along the pipe. This vapor blockage resulting in a decrease in LPG flow velocity along the pipe. Decrease in the density and velocity result in changes in LPG mass flow rate along the pipe. This phenomenon of vapor blockage resulting in a lock up on the regulator. For the regulator with the outlet diameter 3.5 mm, the blockage of vapor that occurred did not cause lock up, because the LPG mass flow rate higher than two other regulators so as to overcome the blockage along the vapor pipe.

Keyword: *LPG, Vapor Lock, Mass Flow Rate, Lock Up*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
1 BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	3
1.4 BATASAN MASALAH.....	3
1.5 METODOLOGI PENELITIAN.....	3
1.6 SISTEMATIKA PENELITIAN.....	4
2 BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sistem Catu Bahan Bakar Kompom Gas	5
2.1.1. Liquefied Petroleum Gas (LPG).....	5
2.1.2. Regulator LPG Tekanan Rendah	9
2.1.3. Selang kompor gas LPG	9
2.2 Teori-Teori Mengenai Aliran Fluida.....	10
2.2.1. Sifat-Sifat Fluida	10
2.2.2. Persamaan Dalam Aliran Fluida	13
2.2.3. Sumbatan Uap (Vapor Lock)	17
2.2.4. CFD (Computational Fluid Dynamics).....	18
3 BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	28
3.1 Skema Penelitian.....	28
3.2 Peralatan dan Bahan.....	28
3.3 Pengambilan Data	37

3.3.1.	Persiapan Eksperimental Set Up	37
3.3.2.	Pengujian Laju Aliran Maksimal pada Regulator	38
3.3.3.	Melakukan pengambilan data	38
3.4	Pengolahan Data.....	40
4	BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1	Laju Aliran Volume Maksimal LPG pada Regulator	42
4.2	Perubahan Laju Aliran Massa LPG pada Sistem Catu Bahan Bakar Kompur Gas terhadap Waktu.....	44
4.3	Hasil Simulasi CFD	46
4.4	Perubahan Laju Aliran Massa di Sepanjang Pipa	56
4.5	Literature Review	62
5	BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran.....	65
	DAFTAR REFERENSI	66



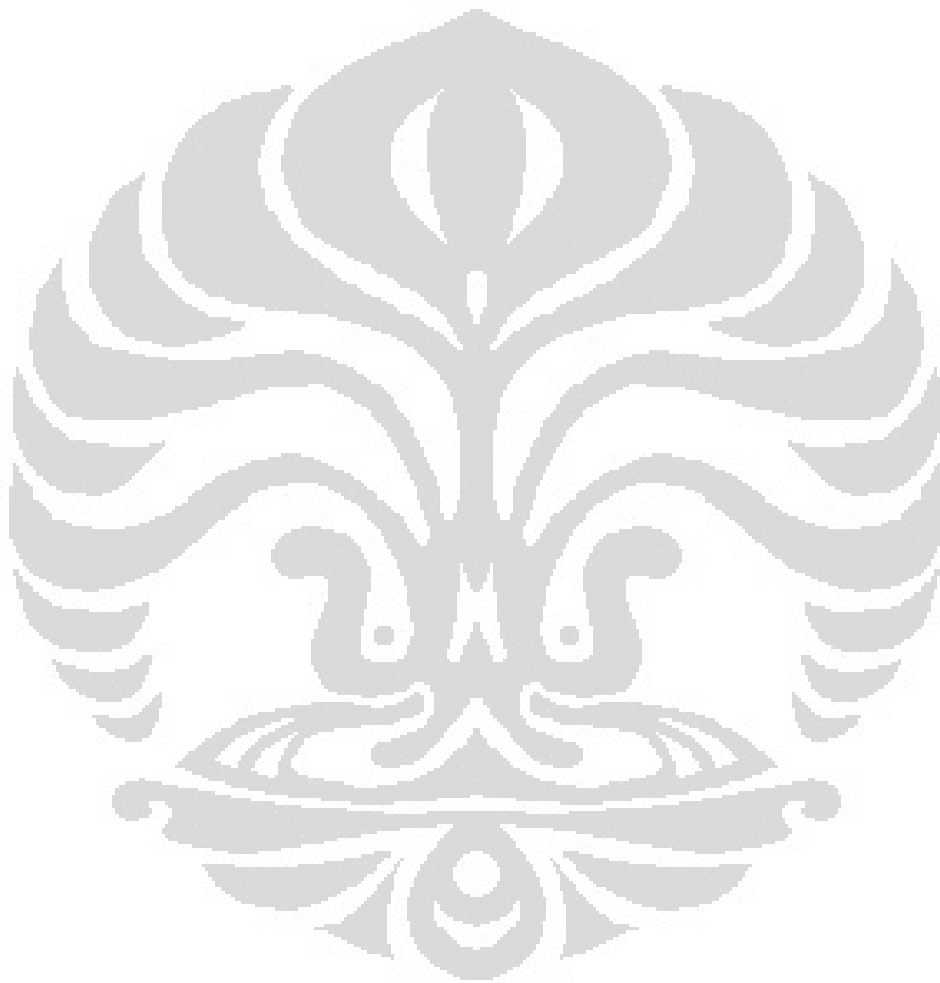
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kurva Hubungan Antara Temperatur dan Tekanan Uap Pada LPG Dengan Berbagai Komposisi Campuran Propana dan Butana	8
Gambar 2.2	Regulator Tekanan Rendah (SNI 7369-2008).....	9
Gambar 2.3	Sistem dan Volume Atur pada Waktu yang Berbeda.....	14
Gambar 2.4	Pengaruh Vapor Lock Pada Stabilitas Aliran Bahan Bakar.....	17
Gambar 2.5	Koordinat Ruang Sebuah Unsur Fluida	20
Gambar 2.6	Keseimbangan Massa Unsur Fluida.....	21
Gambar 2.7	Tegangan-Tegangan yang Beraksi Pada Permukaan Fluida	23
Gambar 2.8	Gaya Total Pada Arah x Pada Elemen Fluida.....	24
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 3.2	Tabung 3 kg dan Dudukan	29
Gambar 3.3	Timbangan Digital	29
Gambar 3.4	Regulator Tekanan Rendah	30
Gambar 3.5	Control Valve	30
Gambar 3.6	Pressure Transducer	31
Gambar 3.7	Thermometer Digital dan Thermocouple Type K.....	31
Gambar 3.8	Rotameter	32
Gambar 3.9	Bunsen Burner.....	32
Gambar 3.10	Converter.....	33
Gambar 3.11	Unit Komputer	33
Gambar 3.12	Pemantik Api.....	33
Gambar 3.13	Wet Gas Meter	34
Gambar 3.14	Penyetaraan Rotameter Menggunakan Wet Gas Meter	36
Gambar 3.15	Hubungan Laju Aliran Gas LPG Terukur Terhadap Tinggi Pelampung Rotameter	37
Gambar 3.16	Skema Pengujian.....	40
Gambar 4.1	Laju Aliran Volume Maksimal Rata-Rata Pada Regulator dengan Diameter Keluaran 3 mm.....	43
Gambar 4.2	Perubahan Laju Aliran Massa LPG terhadap Waktu dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung dengan Diameter Keluaran Regulator 3 mm	44

Gambar 4.3	Perubahan Laju Aliran Massa LPG terhadap Waktu dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung dengan Diameter Keluaran Regulator 3.25 mm	45
Gambar 4.4	Perubahan Laju Aliran Massa LPG terhadap Waktu dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung dengan Diameter Keluaran Regulator 3.5 mm	46
Gambar 4.5	Hasil Simulasi Aliran LPG di Sepanjang Pipa dengan Sudut Kemiringan Tabung 0 Derajat Menggunakan Regulator dengan Diameter Outlet 3 mm.....	47
Gambar 4.6	Hasil Simulasi Aliran LPG di Sepanjang Pipa dengan Sudut Kemiringan Tabung 60 Derajat Menggunakan Regulator dengan Diameter Outlet 3 mm.....	47
Gambar 4.7	Hasil Simulasi Aliran LPG di Sepanjang Pipa dengan Sudut Kemiringan Tabung 90 Derajat Menggunakan Regulator dengan Diameter Outlet 3 mm.....	48
Gambar 4.8	Temperatur di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3 mm	48
Gambar 4.9	Densitas di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3 mm	49
Gambar 4.10	Kecepatan di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3 mm	49
Gambar 4.11	Hasil Simulasi Aliran LPG di Sepanjang Pipa dengan Sudut Kemiringan Tabung 0 Derajat Menggunakan Regulator dengan Diameter Outlet 3.25 mm.....	50
Gambar 4.12	Hasil Simulasi Aliran LPG di Sepanjang Pipa dengan Sudut Kemiringan Tabung 60 Derajat Menggunakan Regulator dengan Diameter Outlet 3.25 mm.....	50
Gambar 4.13	Hasil Simulasi Aliran LPG di Sepanjang Pipa dengan Sudut Kemiringan Tabung 90 Derajat Menggunakan Regulator dengan Diameter Outlet 3.25 mm.....	51
Gambar 4.14	Temperatur di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3.25 mm	51
Gambar 4.15	Densitas di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3.25 mm	52
Gambar 4.16	Kecepatan di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3.25 mm	52

Gambar 4.17	Hasil Simulasi Aliran LPG di Sepanjang Pipa dengan Sudut Kemiringan Tabung 0 Derajat Menggunakan Regulator dengan Diameter Outlet 3.5 mm.....	53
Gambar 4.18	Hasil Simulasi Aliran LPG di Sepanjang Pipa dengan Sudut Kemiringan Tabung 60 Derajat Menggunakan Regulator dengan Diameter Outlet 3.5 mm.....	53
Gambar 4.19	Hasil Simulasi Aliran LPG di Sepanjang Pipa dengan Sudut Kemiringan Tabung 90 Derajat Menggunakan Regulator dengan Diameter Outlet 3.25 mm.....	54
Gambar 4.20	Temperatur di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3.5 mm	54
Gambar 4.21	Densitas di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3.5 mm	55
Gambar 4.22	Kecepatan di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3.5 mm	55
Gambar 4.23	Laju Aliran Massa di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3 mm.....	56
Gambar 4.24	Volume Spesifik di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3 mm.....	57
Gambar 4.25	Laju Aliran Massa di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3.25 mm.....	58
Gambar 4.26	Volume Spesifik di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3.25 mm.....	59
Gambar 4.27	Laju Aliran Massa di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3.5 mm.....	60
Gambar 4.28	Volume Spesifik di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3.5 mm.....	60
Gambar 4.29	Laju Aliran Massa LPG di Sepanjang Pipa dengan Variasi Diameter Outlet Regulator Pada Sudut Kemiringan Tabung 0 Derajat.....	61
Gambar 4.30	Laju Aliran Massa LPG di Sepanjang Pipa dengan Variasi Diameter Outlet Regulator Pada Sudut Kemiringan Tabung 60 Derajat.....	62

Gambar 4.31 Laju Aliran Massa LPG di Sepanjang Pipa dengan Variasi Diameter Outlet Regulator Pada Sudut Kemiringan Tabung 90 Derajat..... 62



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Properti Propana, Butana dan LPG.....	7
Tabel 3.1	Data Penyetaraan Rotameter Untuk Gas LPG.....	36
Tabel 4.1	Batas Laju Aliran Volume Maksimal Rata-Rata Dari Regulator dengan Diameter Keluaran 3 mm.....	42
Tabel 4.2	Pengaturan Laju Aliran Volume Pada Rotameter Saat Mulai Eksperimen untuk Regulator dengan Diameter Keluaran 3 mm.....	43



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Liquefied Petroleum Gas (LPG) telah menjadi penunjang utama kebutuhan rumah tangga di Indonesia. Hal ini berkaitan dengan keputusan pemerintah mencanangkan program konversi minyak tanah ke LPG yang dimulai tahun 2007. Dalam pelaksanaan program konversi tersebut, telah banyak terjadi kecelakaan berupa kebakaran dan ledakan tabung LPG ketika digunakan oleh masyarakat. Kecelakaan yang sering terjadi adalah bermula dari adanya kebocoran gas (*leakage*) pada sistem saluran bahan bakar gas yang kemudian dapat mengakibatkan adanya sambaran nyala api yang sangat potensial mengakibatkan kebakaran dan bahkan diikuti ledakan apabila terjadi fenomena sumbatan uap bahan bakar (*vapor lock*) baik pada saluran maupun pada tanki bahan bakar gas LPG[1]. Fenomena tersebut menyebabkan terjadinya perubahan laju aliran massa LPG yang terjadi di sepanjang saluran bahan bakar, yaitu ditandai dengan melambatnya laju aliran massa LPG yang menuju ke ruang bakar.

Selama ini masyarakat telah mendapat penerangan-penerangan dan sosialisasi dari pihak pemerintah untuk mencegah terjadinya ledakan pada kompor gas LPG, antara lain pemasangan tabung gas LPG harus benar-benar tegak, tidak boleh miring apalagi terguling dan menghindari terjadinya kebocoran [2][3]. Posisi penempatan tabung LPG yang terlalu miring, apalagi terguling akan menyebabkan cairan LPG mengalir ke saluran bahan bakar sehingga proses perubahan fasa dan penguapan pada saluran bahan bakar akan semakin besar. Dengan demikian, fenomena sumbatan uap (*vapor lock*) akan lebih mudah terjadi.

Selama ini belum ada penelitian terkait dengan perubahan laju aliran massa LPG pada sistem catu bahan bakar kompor gas yang diakibatkan oleh adanya sumbatan uap. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk menganalisa terjadinya perubahan laju aliran massa LPG pada sistem catu bahan

bakar kompor gas dengan variasi sudut kemiringan tabung. Dengan demikian dapat diketahui apakah di sepanjang saluran bahan bakar terjadi perubahan laju aliran massa LPG yang diakibatkan oleh sumbatan uap (*vapor lock*), serta bagaimana pengaruh sudut kemiringan tabung terhadap perubahan laju aliran massa LPG tersebut.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai bahaya *vapor lock* akibat posisi tabung LPG terlalu miring atau terguling, sehingga dapat disosialisasikan kepada masyarakat. Dengan demikian, masyarakat akan lebih berhati-hati dalam menggunakan kompor gas, terutama dalam hal penempatan tabung LPG yang aman terhadap bahaya ledakan.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Posisi penempatan tabung LPG yang terlalu miring atau tergulingnya tabung LPG menyebabkan cairan LPG mengalir ke saluran bahan bakar. Hal ini akan meningkatkan terjadinya sumbatan uap (*vapor lock*) pada saluran bahan bakar, yang mengakibatkan terjadinya perlambatan laju aliran massa LPG menuju kompor. Fenomena ini akan menyebabkan terjadinya penundaan pelepasan tekanan pada tabung, sehingga apabila terjadi peningkatan temperatur akan berpotensi menyebabkan terjadinya ledakan pada tabung.

Penelitian ini difokuskan untuk menganalisa terjadinya perubahan laju aliran massa LPG pada sistem catu bahan bakar kompor gas dengan variasi sudut kemiringan tabung. Dengan demikian dapat diketahui apakah di sepanjang saluran bahan bakar terjadi perubahan laju aliran massa LPG yang diakibatkan oleh sumbatan uap (*vapor lock*), serta bagaimana pengaruh sudut kemiringan tabung terhadap perubahan laju aliran massa LPG tersebut. Fenomena sumbatan uap akan difokuskan pada bagian selang LPG yang di simulasikan ke dalam *eksperimental set up* menggunakan pipa acrylic dengan dimensi yang sama dengan standar SNI untuk selang LPG. Hal ini dimaksudkan untuk mempermudah pemasangan alat ukur dan untuk dapat melihat fasa LPG yang mengalir.

1.3. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk

1. Menganalisa perubahan laju aliran massa LPG yang terjadi pada system catu bahan bakar kompor gas akibat adanya sumbatan uap (*vapor lock*) dengan variasi sudut kemiringan tabung LPG.
2. Menganalisa potensi bahaya akibat adanya perubahan laju aliran massa LPG yang disebabkan oleh sumbatan uap (*vapor lock*).

1.4. BATASAN MASALAH

1. Tabung LPG yang digunakan untuk eksperimen adalah ukuran 3 kg produksi pertamina dengan komposisi *propane* (C_3H_8) dan *butane* (C_4H_{10}) dengan perbandingan sekitar 50:50 (rasio perkiraan volume)
2. Fokus kajian dibatasi pada selang LPG yang disimulasikan menggunakan pipa acrylic.
3. Laju aliran massa LPG yang keluar dari tabung diukur dengan cara ditimbang menggunakan timbangan digital dan dicatat penurunan massanya setiap 300 detik.
4. Regulator yang digunakan adalah regulator tekanan rendah. Pada penelitian ini digunakan 3 jenis regulator gas LPG yang memiliki lubang keluaran (*outlet*) yang berbeda (3, 3.25 dan 3.5 mm)
5. Data distribusi densitas dan kecepatan di sepanjang pipa acrylic diperoleh dari hasil simulasi CFD. Hal ini disebabkan penempatan alat ukur di sepanjang pipa acrylic tidak dapat dilakukan, karena akan mengganggu aliran di sepanjang pipa acrylic.
6. Tidak membahas kerugian panas di sepanjang pipa acrylic.

1.5. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur.

Metode yang digunakan dalam pencarian studi literatur ini dengan tinjauan kepustakaan berupa buku-buku yang ada di perpustakaan, jurnal-jurnal, serta referensi artikel yang terdapat di internet.

2. Membuat alat uji di laboratorium
Alat uji yang dibuat mengikuti rancangan awal yang telah dikonsultasikan dengan dosen pembimbing. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Termodinamika, *Flame and Combustion Research Group*, Departemen Teknik Mesin UI.
3. Melakukan pengujian atau pengambilan data sesuai dengan prosedur percobaan yang telah ditentukan.
4. Melakukan pengolahan data dengan menggunakan *microsoft excell* dan *Software Solidwork Flow Simulation 2012* sebagai software untuk simulasi aliran di sepanjang acrylic untuk memperoleh data densitas dan kecepatan di sepanjang acrylic.
5. Dari penganalisaan grafik hasil pengolahan data maka dapat di buat suatu kesimpulan

1.6. SISTEMATIKA PENELITIAN

Bab 1 Pendahuluan

Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang penelitian, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan penelitian.

Bab 2 Dasar Teori

Pada bab ini diuraikan tentang studi literatur yang berkaitan dengan penelitian ini.

Bab 3 Metodologi Penelitian

Pada bab ini berisi prosedur penelitian, daftar alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

Bab 4 Data dan Pembahasan

Bab ini berisi data-data hasil penelitian dan analisa dari hasil penelitian tersebut yang dibandingkan dengan hasil dari studi literatur.

Bab 5 Kesimpulan

Bab ini berisikan kesimpulan akhir berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

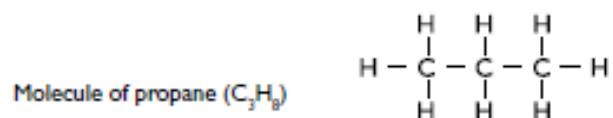
2.1. Sistem Catu Bahan Bakar Kompor Gas

Sistem catu bahan bakar kompor gas merupakan serangkaian komponen yang berfungsi untuk mensuplay bahan bakar (LPG) ke kompor gas. Komponen-komponen pada sistem catu bahan bakar kompor gas meliputi: LPG sebagai bahan bakar, tabung LPG beserta katup tabungnya, *rubber seal*, regulator dan selang

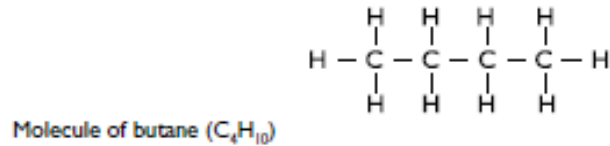
2.1.1 Liquefied Petroleum Gas (LPG)

Liquefied Petroleum Gas (LPG) PERTAMINA dengan *brand* LPG, merupakan gas hasil produksi dari Kilang BBM dan Kilang Gas, yang komponen utamanya adalah gas *propane* (C_3H_8) dan *butane* (C_4H_{10}) kurang lebih 97% dan sisanya adalah gas *pentane* yang dicairkan. LPG lebih berat dari udara dengan berat jenis sekitar 2.01 (dibandingkan dengan udara), tekanan uap LPG cair dalam tabung sekitar $5.0 - 6.2 \text{ Kg/cm}^2$. LPG pada dasarnya tidak berwarna dan tidak berbau, namun LPG komersial biasanya ditambah dengan zat yang disebut *etil merkaptan* untuk memberikan bau yang khas dengan tujuan untuk keselamatan, supaya apabila ada kebocoran gas mudah diketahui dengan cepat. LPG berwujud uap pada suhu dan tekanan kamar tetapi dapat dicairkan dengan mengkompresinya dengan tekanan tertentu. Bila LPG dicairkan, volume menjadi turun. LPG komersial yang dikeluarkan oleh Pertamina terdiri dari campuran *propana* (C_3H_8) dan *butana* (C_4H_{10}) dengan perbandingan sekitar 50:50 (perkiraan volume) [4]

Pembentukan *propane* (C_3H_8) dan *butane* (C_4H_{10}) secara kimiawi adalah sebagai berikut: atom hidrogen (H) dan karbon (C) berkombinasi untuk membentuk molekul hidrokarbon yang dapat terdiri dari jumlah yang berbeda dari atom hidrogen dan karbon. Sebuah molekul yang mengandung tiga atom karbon dan delapan atom hidrogen disebut propana:



Dengan cara serupa, empat atom karbon berikatan dengan 10 atom hidrogen disebut butana:



Sifat-sifat LPG dapat dilihat dari sifat-sifat komponen utama penyusunnya yaitu *propane* (C_3H_8) dan *butane* (C_4H_{10}). Berikut ini adalah deskripsi sifat fisik dari LPG.

1. Densitas

Densitas LPG didefinisikan sebagai massa per satuan volume (kg / l) pada suhu tertentu. LPG Cair memiliki densitas sekitar $0,536 \text{ kg} / \text{l}$ atau 536 kg/m^3 pada 15°C atau sekitar setengah berat air. Uap LPG memiliki densitas sekitar 1,9 kali dari udara atau sekitar $2,1 \text{ kg/m}^3$.

2. Nilai kalor (CV)

Jumlah panas yang dibebaskan oleh pembakaran suatu zat dikenal sebagai nilai kalor atau CV. Hal ini biasanya dinyatakan dalam megajoule per kg (MJ / kg). CV untuk LPG adalah $49,6 \text{ MJ} / \text{kg}$

3. Tingkat Ekspansi Termal

Tingkat ekspansi termal LPG cair adalah sekitar 10 kali dari air. Ketika katup dari LPG dibuka, tekanan dalam silinder berkurang dan cairan mulai menguap (mendidih) pada tekanan rendah. Penguapan ini menyebabkan terjadi pendinginan dan temperatur gas akan menurun. Jika laju penguapan gas terlalu tinggi, temperatur gas akan menurun hingga di bawah 0°C dan es akan mulai terbentuk pada dinding luar yang lebih rendah dari silinder.

4. Tekanan uap

Satu liter LPG cair akan cepat dan benar-benar menguap saat terkena tekanan atmosfer (100 kPa) untuk membentuk sekitar 275 liter uap pada 15°C . dalam silinder tertutup yang berisi beberapa LPG cair, jumlah yang relatif kecil akan menguap dalam volume terbatas silinder, untuk menghasilkan tekanan silinder sekitar 250 kPa pada 0°C . Tekanan silinder tertutup ini adalah

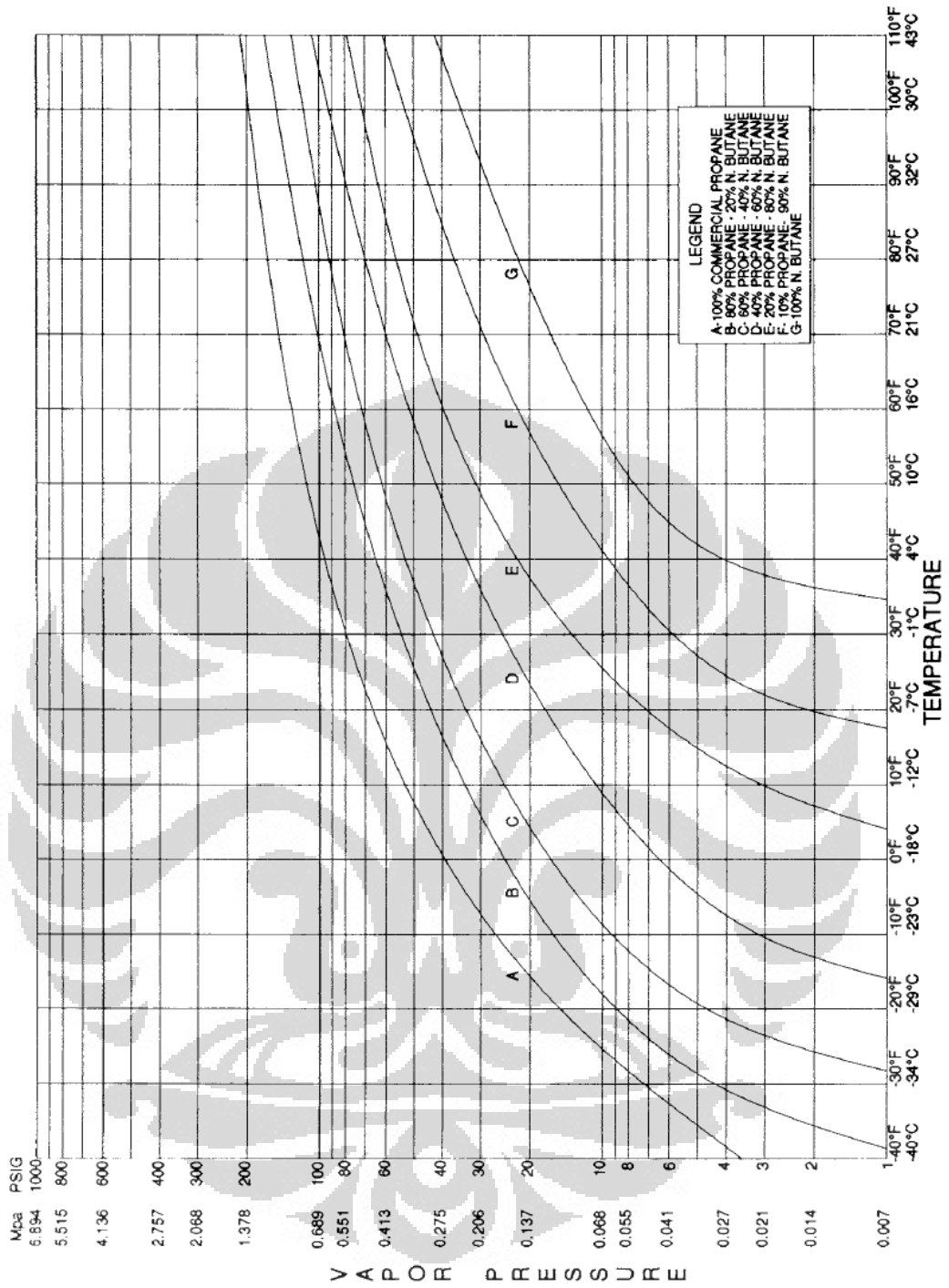
sama dengan tekanan uap, dan tekanan itu meningkat secara dramatis sampai 500 kPa pada suhu 20⁰ C dan 1550 kPa pada 60⁰ C. Sebuah kebocoran cairan jauh lebih serius daripada kebocoran gas karena terbentuk volume tinggi gas. Kebocoran gas dalam udara akan membentuk campuran mudah terbakar sekitar 10000 liter dari satu liter LPG cair [5].

Sifat-sifat dari *Propane*, *Butane* dan LPG dapat di lihat pada tabel 2.1 berikut ini:

Table 2.1 Properti Propana, Butana dan LPG

Property	Propane	Butane	Handigas
Molecular weight	44,09	58,12	49,7 (av.)
Carbon content (wt%)	81,72	82,66	82,15
Hydrogen content (wt%)	18,28	17,34	17,85
Carbon: hydrogen ratio by weight	4,47	4,77	4,60
Density of liquid at 15°C (kg/l)	0,510	0,575	0,536
Boiling point of liquid at atm. pres. (°C)	-42,1	-0,5	-42,1 -0,5
Density of gas at 15°C & atm. pres. (kg/m ³)	1,86	2,46	2,10
Volume ratio of gas:liquid at STP*	274:1	233:1	258:1
Volume of gas from 1 kg liquid at STP (l)	537	405	484
Mass ratio of gas:air at 15°C & atm. pres.	1,52:1	2,01:1	1,716:1
Latent heat of vaporisation at 15°C (kJ/kg)	20,43	21,27	20,77
Vapour pressure at 20°C (kPa abs.)	710	110	500
Sp. heat of vapour at atm. pres. (cal/g.°C)	0,388	0,397	0,392
Net calorific value at 25°C (MJ/kg)	46,0	45,6	45,8
Gross calorific value at 25°C (MJ/kg)	49,8	49,4	49,6
Wobbe number (kcal./Nm ³)	19 000	21 600	
Limits of flammability in air (vol% gas)	2,2 – 10	1,8 – 9	1,8 – 10
Limits of flammability in oxygen (vol% gas)	2 – 50	2 – 50	2 – 50
Max. flame temperature in air (°C)	1 930	1 900	1 900
Max. flame temperature in oxygen (°C)	2 740	2 700	2 700
Max. flame speed in 25 mm tube (cm/sec)	82	82	82
Air reqd for combustion at STP* (m ³ /kg LPG)	12,10	11,93	12,03
Air:gas vol. ratio for combustion at STP	22,5	29,5	24,9
O ₂ vol. for combustion at STP* (m ³ /kg fuel)	2,56	2,51	2,54

Hubungan antara temperatur dan tekanan uap pada LPG dengan berbagai komposisi campuran *propane* dan *butane* dapat dilihat pada kurva 1 [6] berikut ini:



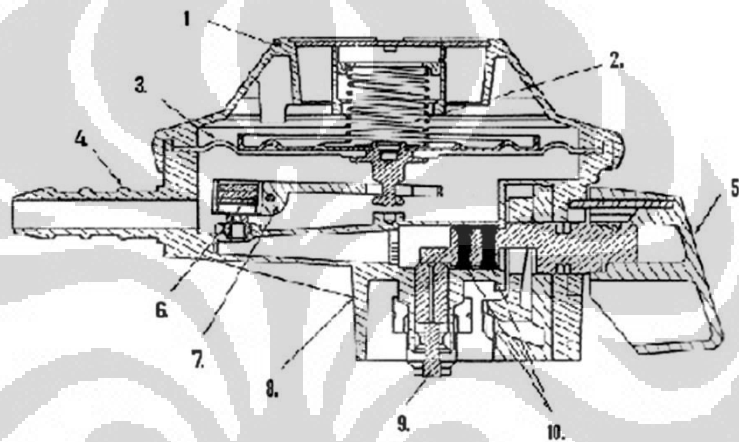
Gambar 2.1 Kurva Hubungan Antara Temperatur dan Tekanan Uap Pada LPG Dengan Berbagai Komposisi Campuran Propana dan Butana

2.1.2 Regulator LPG Tekanan Rendah

Regulator LPG tekanan rendah adalah alat pengatur tekanan dirancang khusus untuk mengatur tipe tabung baja LPG dengan tekanan keluaran maksimal 5 kPa. Persyaratan yang harus dipenuhi regulator, diantaranya adalah:

- a. Dengan tekanan masuk sebesar 0,7 MPa tekanan keluar dari regulator minimal mencapai 2,8 kPa dengan toleransi $\pm 0,47$ kPa.
- b. Pada saat tidak ada arus aliran keluar, tekanan pada pengaman (*lock-up*) tidak boleh melebihi 41 mbar [7].

Konstruksi dari Regulator tekanan rendah adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2 Regulator Tekanan Rendah (SNI 7369-2008)

Keterangan :

1. Penutup regulator
2. Pegas beban
3. Karet membran
4. Kunci pemutar (tidak termasuk tuas)
5. Bantalan katub
6. Penghubung mekanis
7. Badan regulator
8. Spindel katup
9. Cincin perapat
10. Tuas
11. Bushing

2.1.3 Selang kompor gas LPG

Selang kompor LPG merupakan selang karet lentur yang digunakan untuk mengalirkan gas LPG ke kompor gas untuk keperluan rumah tangga. Dimensi

selang berdasarkan syarat mutu SNI 7213-2006 adalah diameter lubang 10 ± 0.75 mm dan panjang 1800 ± 18 s/d 2500 ± 25 [8]

2.2. Teori-Teori Mengenai Aliran Fluida

Fluida dapat didefinisikan sebagai zat yang terus menerus berubah bentuk apabila mengalami tegangan geser. fluida dapat digolongkan ke dalam cairan atau gas. Perbedaan utama antara cairan dan gas adalah cairan tidak kompresibel, sedangkan gas kompresibel. Cairan mengisi volume tertentu dan mempunyai permukaan-permukaan bebas sedangkan gas akan menyebar dan menempati seluruh wadah yang ditempatinya.

Secara garis besar fluida dapat diklasifikasikan dalam dua jenis, yaitu fluida *Newtonian* dan fluida *Non-Newtonian*. Fluida *Newtonian* adalah fluida yang tegangan gesernya berhubungan secara linier terhadap laju regangan geser. pada fluida *Newtonian*, koefisien viskositas dinamikanya (μ) bergantung pada temperature dan tekanan namun tidak tergantung pada gradient kecepatan. Fluida *Newtonian* mengikuti hukum Newton tentang aliran dituliskan dengan persamaan berikut:

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2.1)$$

Dimana:

T = Tegangan geser pada fluida

μ = Viskositas Fluida

$\frac{\partial u}{\partial y}$ = Gradient kecepatan fluida

Sedangkan Fluida *Non-Newtonian* adalah fluida yang tegangan gesernya tidak berhubungan secara linier terhadap laju regangan geser.

2.2.1. Sifat-Sifat Fluida

a. Kerapatan (*density*)

Kerapatan sebuah fluida, dilambangkan dengan huruf Yunani ρ (rho), didefinisikan sebagai massa fluida per satuan volume. Kerapatan biasanya digunakan untuk mengkarakteristikkan massa sebuah sistem fluida.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.2)$$

dimana:

ρ = kerapatan (kg/m^3)

m = massa (kg)

v = volume (m^3)

Nilai kerapatan dapat bervariasi cukup besar di antara fluida yang berbeda, namun untuk zat-zat cair, variasi tekanan dan temperature umumnya hanya memberikan pengaruh kecil terhadap nilai ρ .

Volume jenis, v , adalah volume persatuan massa dan oleh karena itu merupakan dari kerapatan, artinya

$$v = \frac{1}{\rho} \quad (2.3)$$

dimana: v = volume jenis (m^3/kg)

ρ = kerapatan (kg/m^3)

b. Tekanan (*pressure*)

Gas-gas sangat mudah dimampatkan dibandingkan dengan zat cair, dimana perubahan kerapatan gas berhubungan langsung dengan perubahan tekanan dan temperature melalui persamaan:

$$p = \rho RT \quad (2.4)$$

dimana: p = tekanan (Pa atau N/m^2)

ρ = kerapatan (kg/m^3)

R = konstanta gas (J/mol.K)

T = temperatur mutlak (K)

Persamaan (2.4) biasanya disebut dengan gas ideal atau gas sempurna. Perilaku ini diketahui sangat mendekati perilaku gas-gas riil di bawah kondisi yang normal apabila gas-gas tersebut tidak mendekati keadaan pencairannya.

Tekanan dalam sebuah fluida dalam keadaan diam didefinisikan sebagai gaya normal per satuan luas yang diberikan pada sebuah permukaan bidang (nyata atau semu) yang terendam dalam fluida dan terbentuk dari tumbukan permukaan

tersebut dengan molekul-molekul fluida. Tekanan dalam hukum gas ideal harus dinyatakan dalam *mutlak*, yang berarti bahwa tekanan tersebut diukur relative terhadap tekanan nol mutlak (tekanan yang hanya terjadi dalam suatu ruang hampa sempurna). Dalam bidang teknik, biasa diterapkan pengukuran tekanan relative terhadap tekanan atmosfer local, dan apabila kita mengukur dengan cara ini hasilnya disebut dengan tekanan ukur (*gage pressure*). Jadi tekanan mutlak dapat diperoleh dari tekanan ukur dengan menambahkan nilainya dengan nilai tekanan atmosfer.

c. Viskositas (kekentalan)

Viskositas (kekentalan) suatu fluida adalah sifat yang menentukan besar daya tahannya terhadap gaya geser atau ukuran penolakan sebuah fluida terhadap perubahan bentuk di bawah tekanan *shear*. Kekentalan terutama diakibatkan oleh saling pengaruh antara molekul-molekul fluida. Viskositas dinyatakan dalam dua bentuk, yaitu viskositas dinamik (μ) dan viskositas kinematic (ν).

Viskositas dinamik (μ) merupakan perbandingan tegangan geser dengan laju perubahannya dan dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.5)$$

dimana: τ = tegangan geser yang dihasilkan fluida

μ = viskositas (N.s/m²)

$\frac{du}{dy}$ = laju regangan geser

Sedangkan viskositas kinematic (ν) merupakan perbandingan viskositas dinamik (μ) terhadap kerapatan (ρ):

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.6)$$

d. Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds dalam mekanika fluida adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskos yang menunjukkan hubungan antara kedua gaya terhadap kondisi suatu alran tertentu. Bilangan ini merupakan bilangan tak

berdimensi yang mendeskripsikan jenis aliran yang berbeda yaitu aliran laminar, transisi, dan turbulen.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2.7)$$

Dimana: ρ = kerapatan (kg/m^3)

V = kecepatan rata-rata fluida (m/s)

D = diameter dalam pipa (m)

μ = viskositas dinamik (kg.m/s)

Jenis- jenis aliran berdasarkan gaya yang terjadi fluida :

a. Aliran Laminar

Aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan, atau laminar-laminar dengan satu lapisan secara lancer. Nilai bilangan Reynolds untuk aliran laminar sekitar 2100.

b. Aliran turbulen

Aliran dimana pergerakan partikel-partikel fluida sangat tidak beraturan karena mengalami pencampuran serta putaran partikel antar lapisan yang mengakibatkan terjadinya momentum antar fluida. Nilai bilangan Reynolds untuk aliran turbulen berkisar 4000.

c. Aliran transisi

Aliran transisi ini merupakan aliran yang ditimbulkan antara peralihan aliran laminar dan turbulen [9].

2.2.2. Persamaan Dalam Aliran Fluida

1. Persamaan Kontinuitas (Hukum Kekekalan Massa)

Sebuah sistem didefinisikan sebagai sebuah kumpulan dari isi yang tidak berubah, maka prinsip kekekalan massa untuk sebuah sistem dinyatakan secara sederhana sebagai:

$$\frac{DM_{sys}}{Dt} = 0 \quad (2.8)$$

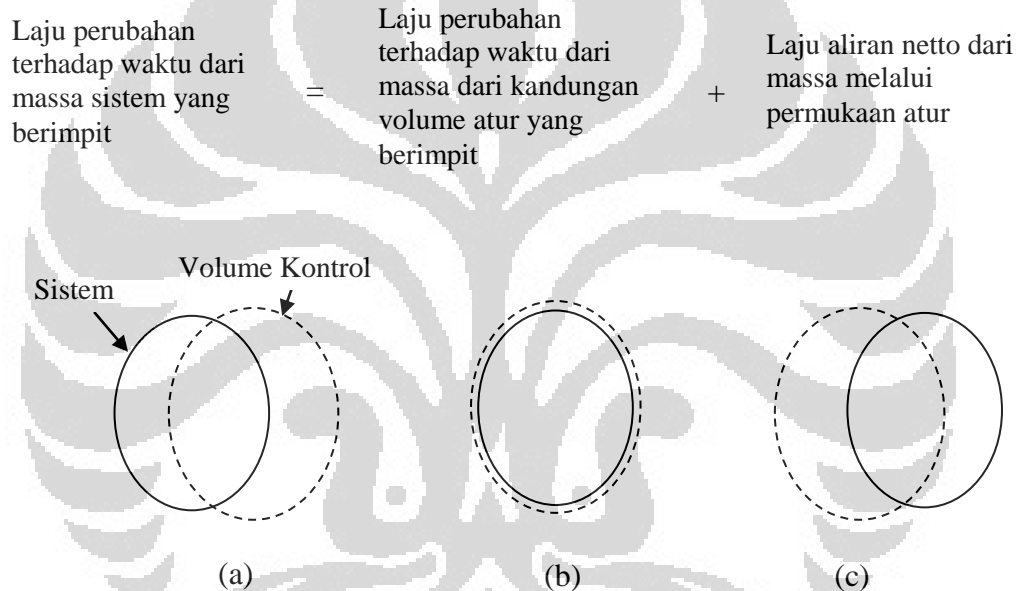
Di mana massa sistem M_{sys} , lebih umum dinyatakan sebagai:

$$M_{sys} = \int_{sys} \rho dV \quad (2.9)$$

Pengintegralan meliputi seluruh volume sistem. Persamaan 2.9 menyatakan bahwa massa sistem sama dengan jumlah dari seluruh perkalian kerapatan dan unsur volume dari isi sistemnya.

Untuk sebuah sistem dan sebuah volume atur tetap dan tidak berdeformasi yang berimpit pada suatu saat yang sama seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.3, dinyatakan sebagai:

$$\frac{D}{Dt} \int_{sys} \rho dV = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho dV + \int_{cs} \rho V \cdot \hat{n} dA \quad (2.10)$$



Gambar 2.3 Sistem dan Volume Atur pada Waktu yang Berbeda
 (a) Sistem dan Volume Atur pada $t-\delta t$ (b) Sistem dan Volume Atur pada Waktu t , kondisi yang berimpit (c) Sistem dan Volume Atur pada $t + \delta t$ (Munson, Young, Okiishi, 2004)

Pernyataan volume atur untuk kekekalan massa yang biasanya disebut persamaan kontinuitas, untuk volume atur yang tetap dan tidak berdeformasi diperoleh dengan mengkombinasikan persamaan 2.8, 2.9 dan 2.10 yang menghasilkan

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho dV + \int_{cs} \rho V \cdot \hat{n} dA = 0 \quad (2.11)$$

Laju perubahan terhadap waktu dari massa kandungan volume atur ditambah dengan laju netto aliran massa melalui permukaan atur harus sama dengan nol.

Pernyataan yang sering digunakan untuk laju aliran massa, \dot{m} , melalui sebuah bagian dari permukaan atur dengan luas A adalah

$$\dot{m} = \rho Q = \rho A V \quad (2.12)$$

dimana ρ adalah kerapatan fluida (kg/m^3), Q adalah laju aliran volume (m^3/s) dan V adalah kecepatan fluida yang tegak lurus bidang A (m^2).

2. Persamaan Navier-Stokes

Partikel fluida pada fluida viskos yang bergerak mendapat gaya permukaan tambahan, yaitu gaya-gaya geser dan gaya-gaya normal. Dengan mensubstitusikan persamaan untuk percepatan, tegangan geser dan tegangan normal akan menghasilkan persamaan gerak untuk fluida viskos yang dikenal dengan persamaan Navier Stokes. Persamaan Navier Stokes adalah bentuk differensial dari hukum kedua Newton tentang gerakan. Persamaan Navier Stokes digunakan untuk menganalisa aliran viskos. Bentuk dari persamaan Navier Stokes dinyatakan sebagai berikut:

Menurut arah sumbu x:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2.13)$$

Menurut arah sumbu y:

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (2.14)$$

Menurut arah sumbu z:

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (2.15)$$

3. Persamaan Gerak Euler

Untuk sebuah aliran inviscid yang seluruh tegangan gesernya adalah nol, persamaan geraknya dinyatakan sebagai berikut:

Menurut arah sumbu x:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x \quad (2.16)$$

Menurut arah sumbu y:

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_y \quad (2.17)$$

Menurut arah sumbu z:

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z \quad (2.18)$$

Persamaan tersebut dikenal sebagai persamaan gerak Euler [9].

4. Persamaan Energi

Persamaan energy dari aliran fluida mampu mampat pada suatu volume control dinyatakan sebagai berikut:

$$h_2 + \frac{v_2^2}{2} = h_1 + \frac{v_1^2}{2} + q - w \quad (2.19)$$

Dimana:

- h_1 = enthalpy fluida yang masuk
- v_1 = kecepatan fluida yang masuk
- h_2 = enthalpy fluida yang keluar
- v_2 = kecepatan fluida yang keluar
- q = kalor yang masuk
- w = kerja yang dilakukan oleh fluida

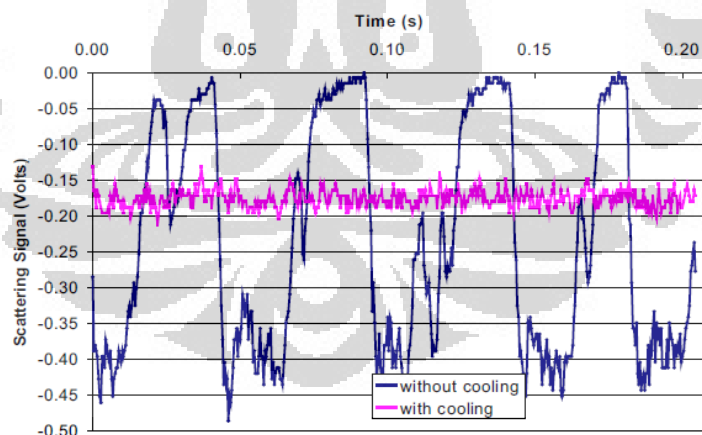
Sesuai hukum gas ideal, $h = c_p T$. Sehingga apabila aliran diasumsikan adiabatic, maka persamaan tersebut di atas menjadi [10]:

$$C_p T_2 + \frac{v_2^2}{2} = C_p T_1 + \frac{v_1^2}{2} \quad (2.20)$$

2.2.3. Sumbatan Uap (*Vapor Lock*)

Menurut Gutrie (1970), *vapor lock* merupakan terhalangnya aliran bahan bakar pada saluran akibat proses penguapan atau kejadian dimana bahan bakar terhalang gelembung-gelembung uap sehingga sulit melalui saluran bahan bakar [11]. Augusto (1994) mengemukakan bahwa ketika *vapor lock* terjadi, laju aliran bahan bakar dan tekanan pada saluran keluar turun, sedangkan temperature pada saluran bahan bakar naik [12].

Andrew Campbell (2003) mendefinisikan *vapor lock* sebagai proses penguapan bahan bakar yang terjadi terlalu awal (premature) yang disebabkan oleh terjadinya pemanasan pada saluran bahan bakar yang mencapai suhu dan tekanan saturasi bahan bakar. berdasarkan hasil eksperimennya yang dilakukan pada sistem injeksi bahan bakar diesel, Andrew Campbell mengemukakan bahwa indikator terjadinya *vapor lock* adalah melambatnya aliran bahan bakar, tetapi hal ini bisa di atasi dengan menggunakan pendingin pada sistem injeksi bahan bakarnya[13]. Eksperimen dilakukan menggunakan *Laser induced Rayleigh Scattering* untuk mengamati konsentrasi campuran bahan bakar serta stabilitas laju aliran bahan bakar. Pengaruh *vapor lock* terhadap stabilitas aliran bahan bakar dengan dan tanpa pendingin ditampilkan pada gambar berikut:



Gambar 2.4. Pengaruh Vapor Lock Pada Stabilitas Aliran Bahan Bakar
(Andrew Campbell , 2003)

Dari gambar di atas terlihat bahwa aliran bahan bakar sangat fluktuatif ketika terjadi vapor lock tanpa diberikan pendingin. Dengan diberikan pendingin, vapor lock dapat dikurangi dan stabilitas aliran bahan bakar jauh lebih baik. Hal ini

sejalan dengan T.K Nandi dan K. Ramamurti (1997) yang mengemukakan bahwa, untuk dapat meruntuhkan *vapor lock* atau mengurangi waktu terjadinya *vapor lock* dapat dilakukan dengan menurunkan derajat subcooling dan meningkatkan kecepatan aliran masuk fluida pendingin [14].

2.2.4. CFD (Computational Fluid Dynamics)

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah metode perhitungan 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. Kontrol-kontrol penghitungan ini beserta kontrol-kontrol penghitungan lainnya merupakan pembagian ruang yang disebut tadi atau meshing. Nantinya, pada setiap titik kontrol penghitungan akan dilakukan penghitungan oleh aplikasi dengan batasan domain dan *boundary condition* yang telah ditentukan.

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, massa, serta species, 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 melibatkan dengan memanfaatkan persamaan-persamaan yang terlibat. Persamaan-persamaan ini adalah persamaan yang membangkitkan dengan memasukan 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. Inialisasi awal dari persamaan adalah *boundary condition*. *Boundary condition* adalah kondisi dimana kontrol-kontrol perhitungan didefinisikan sebagai definisi awal yang akan

dilibatkan ke kontrol-kontrol penghitungan yang berdekatan dengannya melalui persamaan-persamaan yang terlibat.

Secara umum proses penghitungan CFD terdiri atas 3 bagian utama: *Preprocessor*, *Processor* dan *Post processor*.

1. Sub-Program Pre-processor

- CAD (Membangun Geometri)
- Membangun Mesh
- Input Data Sifat Fluida Kerja (massa jenis, viskositas, konduktivitas dll.)
- Input Kondisi Batasan Aliran

2. Sub-Program Processor (Solver)

Persamaan Dasar Aliran Fluida

- Massa (Kontinuitas)
- Momentum
- Energi

Model Fisika

- Turbulensi
- Reaksi (Pembakaran)
- Radiasi

3. Sub-Program Post-Processor

Menyajikan Hasil :

- Pola Aliran (vektor dan kontur kecepatan, *streamline*, *pathline* dll.)
- Distribusi Tekanan dan Distribusi Temperatur (untuk kasus non-isotermal)

Preprocessor adalah tahap dimana data diinput mulai dari pendefinisian domain serta pendefinisian kondisi batas atau *boundary condition*. Ditahap ini juga sebuah benda atau ruangan yang akan dianalisa dibagi-bagi dengan jumlah grid tertentu atau sering juga disebut dengan *meshing*.

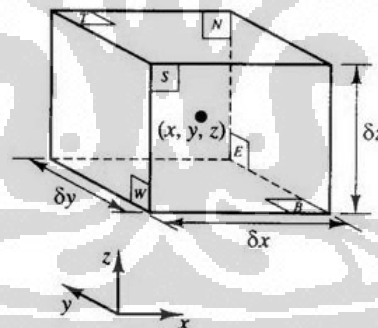
Tahap selanjutnya adalah *processor*, pada tahap ini dilakukan proses penghitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya penghitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Penghitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap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

solver, terdapat 3 persamaan atur aliran fluida yang menyatakan hukum kekekalan fisika, yaitu : 1) massa fluida kekal; 2) laju perubahan momentum sama dengan resultansi gaya pada partikel fluida (Hukum II Newton); 3) laju perubahan energi sama dengan resultansi laju panas yang ditambahkan dan laju kerja yang diberikan pada partikel fluida (Hukum I Termodinamika) [15].

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam simulasi CFD merupakan pernyataan matematis dari hukum kekekalan fisika.

- Massa fluida adalah tetap/kekal.
- Laju perubahan momentum sama dengan jumlah gaya pada partikel fluida (hukum kedua Newton).
- Laju perubahan energi adalah sama dengan jumlah tingkat penambahan panas dan tingkat kerja yang dilakukan pada sebuah partikel fluida (hukum pertama termodinamika).

Fluida dianggap sebagai sebuah kontinum. Perilaku fluida dalam hal sifat makroskopik, seperti kecepatan, tekanan, kepadatan dan temperatur, ruang dan turunan waktu, dianggap sebagai unsur kecil fluida seperti gambar dibawah:



Gambar 2.5. Koordinat Ruang Sebuah Unsur Fluida

Keenam permukaan diberi label N, S, E, W, T dan B yang singkatan dari Utara, Selatan, Timur, Barat, Atas dan Bawah. Arah positif sepanjang sumbu koordinasi juga diberikan. Pusat elemen ini terletak pada posisi (x, y, z) . Semua sifat fluida adalah fungsi dari ruang dan waktu sehingga kita sangat perlu untuk menulis $p(x, y, z, t)$, $\rho(x, y, z, t)$, $T(x, y, z, t)$ dan $u(x, y, z, t)$ untuk densitas, tekanan, temperatur dan vektor kecepatan masing-masing. Tekanan pada permukaan E dan W, yang keduanya pada jarak $\frac{1}{2} \delta x$ dari pusat elemen, dapat dinyatakan sebagai:

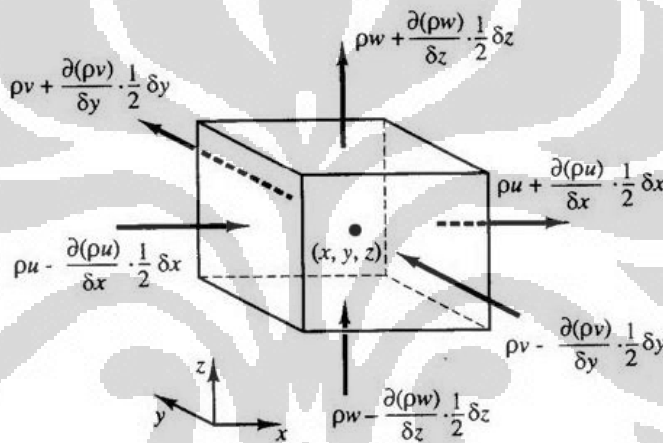
$$p - \frac{\partial p}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \quad \text{dan} \quad p + \frac{\partial p}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \quad (2.21)$$

1. Konservasi Massa Dalam Tiga Dimensi

Langkah pertama dalam menurunkan persamaan konservasi massa adalah dengan menulis keseimbangan massa unsur fluida.

$$\text{Laju peningkatan massa di dalam elemen fluida} = \text{Laju aliran massa yang memasuki elemen fluida}$$

Dari gambar dapat dilihat bahwa laju aliran massa ke dalam elemen melintasi batas-batas yang diberikan mendapatkan tanda positif dan arus yang meninggalkan elemen diberi tanda negatif.



Gambar 2.6. Keseimbangan Massa Unsur Fluida

Keseimbangan massa yang dihasilkan di atur di sisi kiri tanda sama dengan dan dibagi dengan elemen volume $dx dy dz$.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.22)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho u) = 0 \quad (2.23)$$

2. Laju Perubahan Partikel Fluida dan Elemen Fluida

Momentum dan hukum konservasi energi membuat pernyataan tentang perubahan sifat dari partikel fluida. Masing-masing properti seperti partikel merupakan

fungsi dari posisi (x, y, z) dari partikel dan waktu t . Nilai properti per satuan massa dilambangkan dengan ϕ . $D\phi / Dt$ merupakan laju perubahan properti ϕ per satuan massa. Persamaan konservasi massa berisi massa per satuan volume (yaitu densitas ρ) sebagai kuantitas yang kekal. Jumlah laju perubahan densitas tiap waktu dan konvektif dalam persamaan konservasi massa untuk elemen fluida

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{u}) \quad (2.24)$$

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\phi\mathbf{u}) \quad (2.25)$$

Persamaan tersebut menunjukkan laju perubahan ϕ per satuan volume ditambah ϕ yang keluar dari elemen fluida per satuan volume

Untuk membangun tiga komponen dari persamaan momentum dan persamaan energy, masukan yang relevan untuk ϕ dan tingkat perubahan per satuan volume, diberikan di bawah ini:

x-momentum	u	$\rho \frac{Du}{Dt}$	$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{u}u)$
y-momentum	v	$\rho \frac{Dv}{Dt}$	$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{u}v)$
z-momentum	w	$\rho \frac{Dw}{Dt}$	$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{u}w)$
Energy	E	$\rho \frac{DE}{Dt}$	$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \text{div}(\rho E \mathbf{u})$

(2.26)

3. Persamaan Momentum Dalam Tiga Dimensi

Hukum Newton kedua menyatakan bahwa laju perubahan momentum dari partikel fluida sama dengan jumlah gaya pada partikel.

$$\begin{array}{l} \text{Laju peningkatan} \\ \text{momentum pada} \\ \text{partikel fluida} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Jumlah gaya-gaya} \\ \text{pada partikel} \\ \text{fluida} \end{array}$$

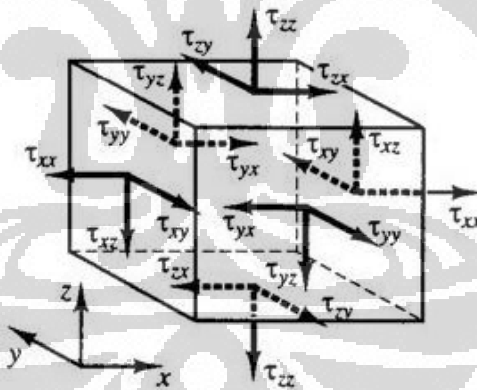
Tingkat kenaikan momentum x, y dan z per satuan volume dari partikel fluida ditunjukkan dengan

$$\rho \frac{Du}{Dt} \quad ; \quad \rho \frac{Dv}{Dt} \quad ; \quad \rho \frac{Dw}{Dt} \quad (2.27)$$

Dibedakan dua jenis gaya pada partikel fluida:

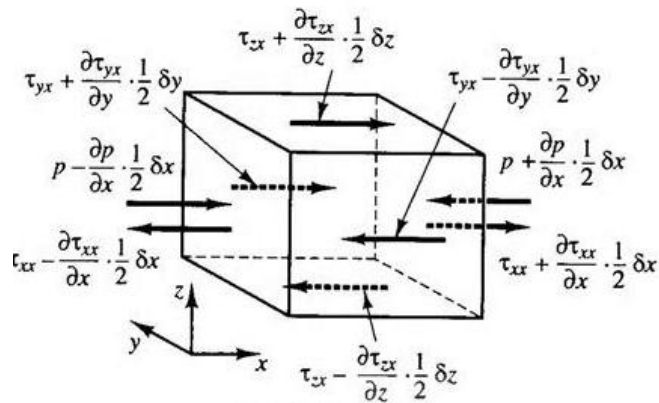
- Gaya permukaan
 - gaya tekanan
 - gaya viskositas
 - gaya gravitasi
- Gaya body
 - gaya sentrifugal
 - gaya Coriolis
 - gaya elektromagnetik

Tekanan keadaan dari elemen fluida didefinisikan dalam bentuk tekanan dan sembilan komponen tegangan viskos yang ditunjukkan pada Gambar. Tekanan, tegangan normal, dilambangkan oleh p . Tegangan viskos dilambangkan oleh τ . τ_{ij} notasi sufiks biasa diterapkan untuk menunjukkan arah tegangan viskos i dan j dalam τ_{ij} menunjukkan bahwa komponen-komponen tegangan yang beraksi ke dalam arah j pada permukaan normal ke arah i



Gambar 2.7. Tegangan-Tegangan yang Beraksi Pada Permukaan Fluida

Gaya total pada arah x adalah jumlah komponen gaya yang bekerja ke arah itu pada elemen fluida



Gambar 2.8. Gaya Total Pada Arah x Pada Elemen Fluida

Di sepasang permukaan (E, W),

$$\left[\left(p - \frac{\partial p}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) - \left(\tau_{xx} - \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \right] \delta y \delta z + \left[\left(-p + \frac{\partial p}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) + \left(\tau_{xx} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \right] \delta y \delta z = \left(-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \right) \delta x \delta y \delta z \quad (2.28)$$

Gaya bersih dalam arah-x pada pasangan permukaan (N, S) adalah

$$-\left(\tau_{yx} - \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z + \left(\tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z = \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \delta x \delta y \delta z \quad (2.29)$$

Akhirnya gaya total dalam arah x pada permukaan T dan B diberikan oleh

$$-\left(\tau_{zx} - \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y + \left(\tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y = \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \delta x \delta y \delta z \quad (2.30)$$

Gaya total per unit volume pada fluida akibat tekanan permukaan adalah jumlah dari 2 gaya diatas

$$\frac{\partial(-p+\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad (2.31)$$

Gaya total dalam arah-x pada elemen karena tegangan permukaan ditambah laju kenaikan momentum-x dari suatu sumber:

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p+\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx} \quad (2.32)$$

Komponen y dari persamaan momentum diberikan oleh

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial(-p+\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{My} \quad (2.33)$$

dan komponen-z dari persamaan momentum oleh

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial (-p + \tau_{zz})}{\partial z} + S_{Mz} \quad (2.34)$$

Tanda yang menempel dengan tekanan berlawanan dengan yang menempel dengan tegangan viskos normal, karena konvensi tanda biasa mengambil tegangan tarik menjadi tegangan normal positif sehingga tekanan yang menurut definisi tegangan normal tekan memiliki tanda minus.

4. Persamaan Energi Dalam Tiga Dimensi

Persamaan energi berasal dari hukum pertama termodinamika yang menyatakan bahwa laju perubahan energi dari partikel fluida adalah sama dengan laju penambahan panas ke partikel fluida ditambah kerja yang dilakukan pada partikel. Seperti sebelumnya, penurunan persamaan untuk tingkat kenaikan energi dari partikel fluida per satuan volume yang diberikan oleh

$$\rho \frac{DE}{Dt} \quad (2.35)$$

Kerja yang dilakukan pada partikel fluida dalam elemen tersebut oleh gaya permukaan adalah sama dengan hasil dari gaya dan komponen kecepatan dalam arah gaya. Rata-rata total kerja yang dilakukan per satuan volume pada partikel fluida oleh semua gaya permukaan dibagi dengan volume $dx dy dz$. Istilah yang mengandung tekanan dapat dikumpulkan bersama dan ditulis lebih kompak dalam bentuk vektor:

$$-\frac{\partial (up)}{\partial x} - \frac{\partial (vp)}{\partial y} - \frac{\partial (wp)}{\partial z} = -div(pu) \quad (2.36)$$

Ini menghasilkan rata-rata total kerja yang dilakukan pada partikel fluida oleh tegangan permukaan:

$$[-div(pu)] + \left[\frac{\partial (u\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial (u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial (u\tau_{zx})}{\partial z} + \frac{\partial (v\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial (v\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial (v\tau_{zy})}{\partial z} + \frac{\partial (w\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial (w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial (w\tau_{zz})}{\partial z} \right] \quad (2.37)$$

Seringkali energi fluida didefinisikan sebagai jumlah dari energi internal (termal) i , energi kinetik ($u^2 + v^2 + w^2$) dan energi potensial gravitasi. Definisi ini mengambil pandangan bahwa unsur fluida menyimpan energi potensial gravitasi. Sumber energi S_E didefinisikan per satuan volume per satuan waktu. Konservasi

energi partikel fluida dipastikan dengan menyamakan laju perubahan energi dari partikel fluida dengan jumlah dari laju total kerja yang dilakukan pada partikel fluida dan tingkat panas bersih selain fluida dan tingkat kenaikan energi karena sumber. Persamaan energinya adalah

$$\rho \frac{DE}{Dt} = -div(pu) + \left[\frac{\partial(u\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(u\tau_{zx})}{\partial z} + \frac{\partial(v\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(v\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(v\tau_{zy})}{\partial z} + \frac{\partial(w\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial(w\tau_{zz})}{\partial z} \right] + div(k grad T) + S_E \quad (2.38)$$

(Total) persamaan entalpi

$$\frac{\partial(\rho h_0)}{\partial t} + div(\rho h_0 u) = div(k grad T) + \frac{\partial p}{\partial t} + \left[\frac{\partial(u\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(u\tau_{zx})}{\partial z} + \frac{\partial(v\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(v\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(v\tau_{zy})}{\partial z} + \frac{\partial(w\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial(w\tau_{zz})}{\partial z} \right] + S_h \quad (2.39)$$

5. Navier-Stokes Untuk Fluida Newtonian

Dalam fluida Newtonian yang viskos tegangan sebanding dengan tingkat deformasi. Bentuk tiga dimensi hukum Newton tentang viskositas untuk aliran kompresible melibatkan dua konstanta proporsionalitas: yang (pertama) viskositas dinamis, berhubungan deformasi linier, dan viskositas kedua, menghubungkan tegangan dengan deformasi volumetrik. Sembilan komponen tegangan viskos, dimana yang enam independen adalah

$$\begin{aligned} \tau_{xx} &= 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda div u ; \tau_{yy} = 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} + \lambda div u ; \tau_{zz} = 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} + \lambda div u \\ \tau_{xy} = \tau_{yx} &= \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) ; \tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) ; \\ \tau_{yz} = \tau_{zy} &= \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (2.40)$$

Substitusi tegangan geser di atas ke persamaan momentum menghasilkan persamaan Navier Stokes :

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[2\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda div u \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + S_{Mx} \quad (2.41)$$

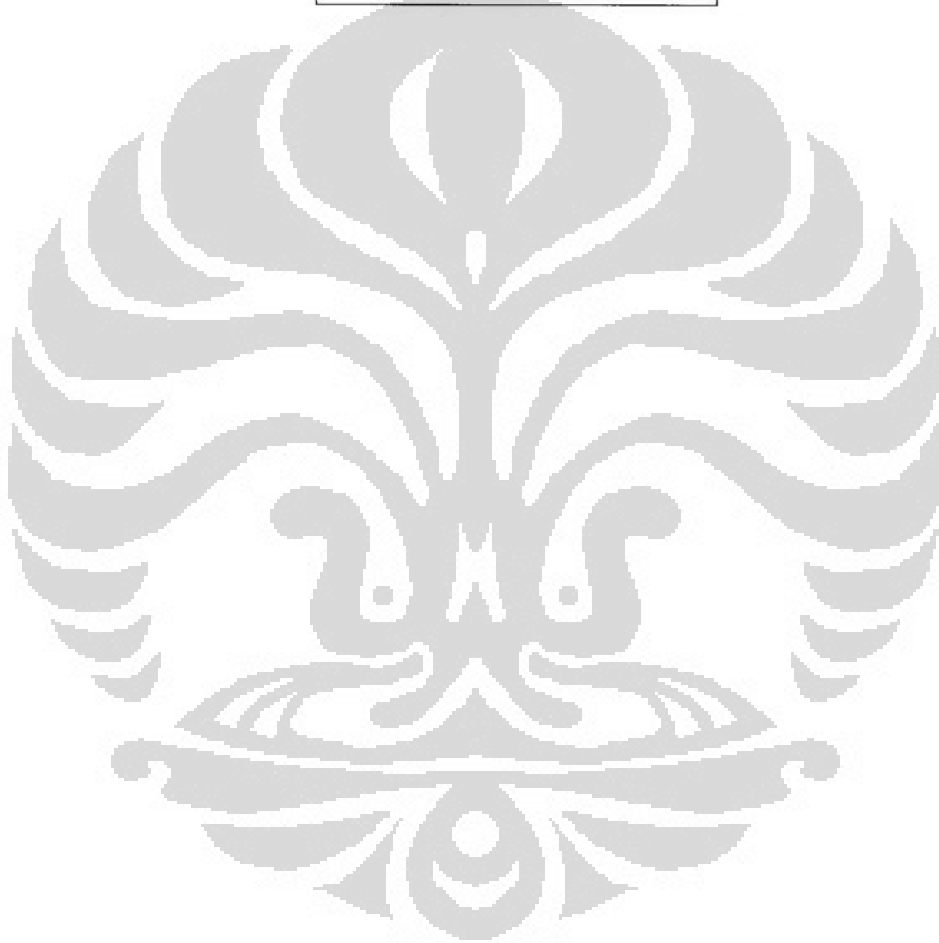
Persamaan Navier-Stokes dapat ditulis dalam bentuk yang paling bermanfaat untuk pengembangan metode volume hingga [15]:

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad } u) + S_{Mx}$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad } v) + S_{My}$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{grad } w) + S_{Mz}$$

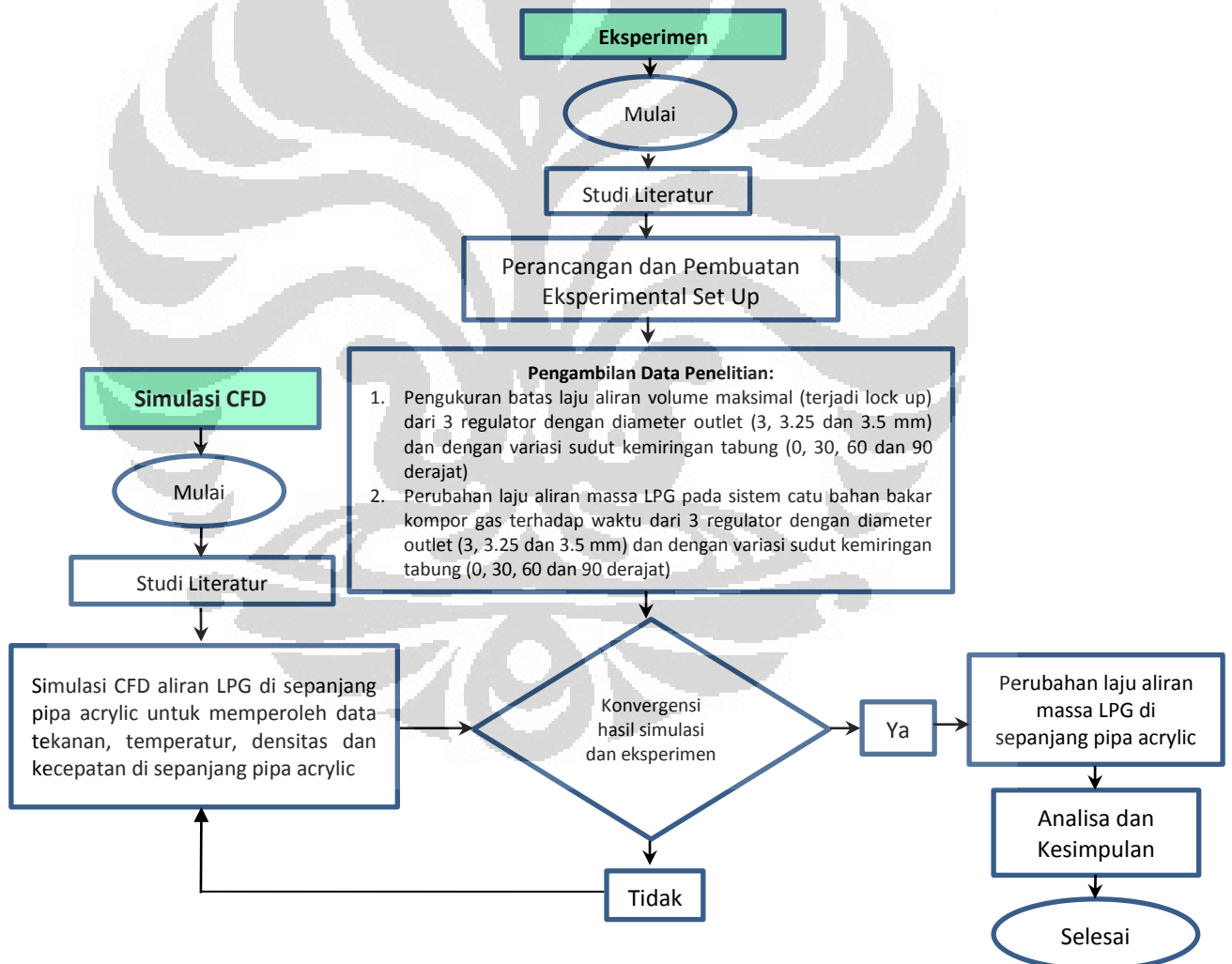
(2.42)



BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Skema Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahap pertama adalah tahap studi literatur dari beberapa referensi seperti *handbook*, jurnal, browsing internet dan lain lain. Tahap berikutnya adalah perancangan dan setup alat eksperimen. Setelah itu dilakukan pengambilan data, simulasi CFD, pengolahan data dan analisis data. Diagram alir penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2. Peralatan dan Bahan

3.2.1. Peralatan Utama

1. Tabung dan Dudukan Tabung LPG

Tabung LPG yang digunakan sebagai bahan pengujian adalah tabung LPG ukuran 3 kg produksi Pertamina dengan komposisi LPG kurang lebih terdiri dari 50% *Propana* (C_3H_8) dan 50% *Butana* (C_4H_{10}) berdasarkan volume. Dudukan tabung LPG 3 Kg (dalam bentuk ayunan, sebagai dudukan tabung dan untuk membuat variasi sudut kemiringan tabung)



Gambar 3.2 Tabung 3 kg dan Dudukan

2. Timbangan Digital

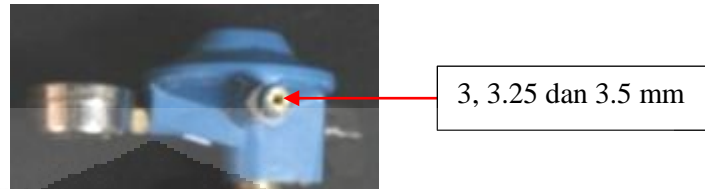
Timbangan digital digunakan untuk mengukur laju aliran massa LPG yang keluar dari tabung setiap 300 detik, sehingga dapat dilihat perubahan laju aliran massa LPG terhadap waktu. Timbangan digital merek *D-Scale A102* ini berukuran 210 x 250 mm dan maksimal pengukuran sebesar 15 kg dengan ketelitian sebesar 0.5 gram.



Gambar 3.3 Timbangan Digital

3. Regulator Tekanan Rendah

Regulator LPG tekanan rendah digunakan untuk mengatur tekanan keluaran LPG dari tabung. Regulator yang digunakan memiliki tekanan kerja sebesar 300 mm.wc dan kapasitas 2 kg/jam. Regulator yang digunakan sejumlah 3 buah dengan diameter lubang keluaran sebesar 3 mm, 3.25 mm dan 3.5 mm



Gambar 3.4 Regulator Tekanan Rendah

4. Kran Pengatur Laju Aliran (*Control Valve*)

Kran pengatur laju aliran (*control valve*) digunakan untuk mengatur laju aliran yang keluar dari regulator menuju ke pipa acrylic.



Gambar 3.5 Control Valve

5. Pipa Acrylic

Pipa acrylic digunakan sebagai pengganti selang LPG untuk memudahkan dalam pembuatan *eksperimental set up*. Selain itu, digunakan pipa acrylic bening atau tak berwarna dimaksudkan untuk dapat melihat fenomena aliran LPG di sepanjang pipa apabila terjadi perubahan fasa.

6. *Pressure Transducer* dan *Pressure Meter*

Pressure transducer dan *pressure meter* merupakan sepasang peralatan yang digunakan untuk mengukur tekanan statik LPG. Pada penelitian ini digunakan tiga pasang *pressure transducer* dan *pressure meter* merek *Lutron* dengan spesifikasi *pressure transducer* sebagai berikut:

- 1 buah *pressure transducer* dengan tekanan maksimal 10 bar dan ketelitian 0.01 bar digunakan untuk mengukur tekanan LPG yang keluar dari tabung.

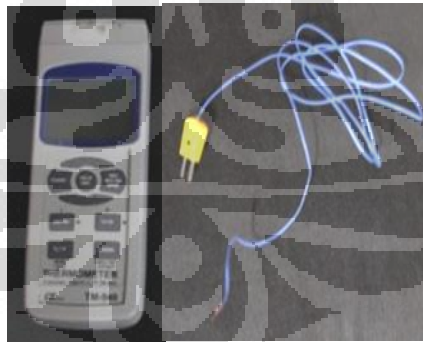
- 2 buah dengan tekanan maksimal 2 bar dan ketelitian 0.002 bar digunakan untuk mengukur tekanan masuk dan keluar LPG pada pipa acrylic.



Gambar 3.6 Pressure Transducer

7. Thermometer Digital dan Thermocouple Type K

Thermometer digital dan thermocouple type K merupakan sepasang peralatan yang digunakan untuk mengukur temperature LPG yang mengalir di dalam pipa acrylic. Thermocouple type K yang dipasang pada pipa acrylic sejumlah 4 buah.



Gambar 3.7 Thermometer Digital dan Thermocouple Type K

8. Rotameter

Rotameter digunakan untuk mengukur debit aliran atau volume aliran yang keluar dari pipa acrylic. Rotameter yang digunakan adalah *Flame Propagation and Stability Unit P.A. Hilton ltd C551*.



Gambar 3.8 Rotameter

9. Bunsen Burner

Bunsen burner digunakan untuk membakar LPG yang keluar dari pipa acrylic supaya tidak terakumulasi di dalam ruangan yang dapat menimbulkan bahaya kebakaran atau ledakan yang besar.



Gambar 3.9 Bunsen Burner

10. Converter

Converter digunakan untuk menghubungkan seluruh pressure meter dan thermometer ke unit komputer, supaya semua data tekanan dan temperature dapat dibaca dan direkam oleh komputer secara bersamaan.



Gambar 3.10 Converter

11. Unit Komputer

Unit Komputer digunakan untuk merekam data pengukuran tekanan dari *pressure meter* dan *pressure transducer* serta data pengukuran temperature LPG di dalam pipa dari *thermocouple* dan *thermometer* melalui *converter*. Data pengukuran direkam setiap detik.



Gambar 3.11 Unit Komputer

12. Pemantik Api

Pemantik api digunakan untuk memberikan percikan api pada ujung burner supaya terjadi proses pembakaran LPG pada burner.



Gambar 3.12 Pematik Api

3.2.2. Peralatan Tambahan

Wet gas meter, digunakan untuk kalibrasi rotameter. spesifikasi :

- Model : WE-1.5A
- Laju aliran, Max. : 1.5 m³/h Min.: 0.005 m³/h
- Pabrikan : *Shinagawa Keisokki Seisakusho CO. LTD*



Gambar 3.13 Wet Gas Meter

Dalam satu putaran penuh jarum penunjuk menyatakan volume total gas yang telah dilewatkan sebesar 5 liter. Cara pengoperasian *Wet Gas Meter* WE-1.5A sebelum digunakan sebagai penyetara alat ukur laju aliran adalah sebagai berikut :

1. Pengisian cairan

Lepaskan tutup untuk memasukkan cairan pada kanan atas alat (bagian depan). Masukkan cairan sampai tinggi permukaan cairan mencapai sekitar 2 mm di atas jarum penunjuk.

2. Pengeringan saluran keluar.

Lepaskan tutup saluran keluar, periksa jika ada cairan yang tersisa. Cairan yang tersisa akan menyebabkan alat tidak bisa bekerja. Jika terdapat cairan sisa di dalam saluran keluar segera keringkan dan kencangkan tutupnya.

3. Idling

Alirkan gas memasuki saluran masuk gas hingga jarum penunjuk berputar 20-30 putaran. Setelah itu saluran masuk dan keluar gas dibuka hingga tekanan operasional *Wet Gas Meter* mencapai 1 atmosfer. Atur tinggi permukaan cairan dengan membuka knop pengendali ketinggian cairan hingga sedikit diatas jarum penunjuk. Setelah proses idling ini, *Wet Gas Meter* dapat dipergunakan.

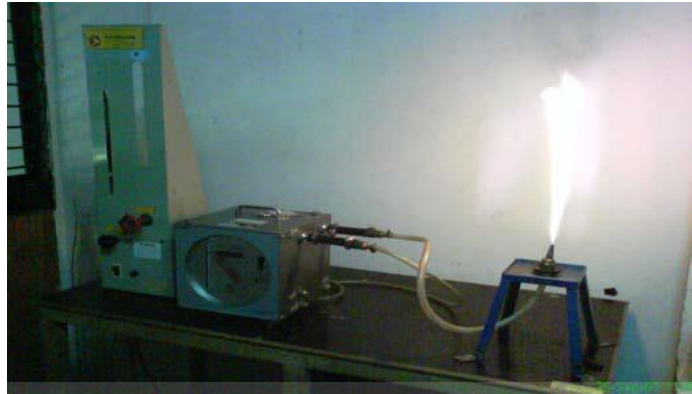
4. Pengeringan

Setelah selesai digunakan untuk pengukuran, *Wet Gas Meter* harus segera dikeringkan dengan melepaskan tutup saluran pembuangan dan membalikkan meteran hingga cairan di dalam tabung keluar semuanya.

Penentuan laju aliran gas menuju *burner* menggunakan alat ukur rotameter: *Flame Propagation & Stability, Unit P.A. Hilton LTD. C551*. seperti yang terlihat dalam Gambar 3.8. Alat ukur rotameter unit P.A.Hilton LTD.C551 dilengkapi kompresor udara serta pengatur aliran udara selain pengukur aliran gas. Besarnya aliran gas maupun udara ditunjukkan dengan ketinggian pelampung pada tabung kaca penunjuk aliran serta sangat dipengaruhi oleh jenis gas yang dipergunakan.

Untuk menentukan hubungan antara tinggi pelampung dan debit aliran gas perlu dilakukan penyetaraan alat ukur atau kalibrasi. Penyetaraan dilakukan dengan membandingkan tinggi pelampung yang ditunjuk rotameter dengan laju aliran gas yang terukur melalui *Wet Gas Meter* model WE-1.5A produksi *Shinagawa Keisokki Seisakusho CO.LTD*. Gambar 3.14 memperlihatkan proses penyetaraan alat ukur rotameter. Adapun cara penyetaraan adalah sebagai berikut :

1. Selang gas dari tabung gas bahan bakar dimasukkan pada saluran masuk gas rotameter.
2. Gas keluar rotameter dialirkan ke saluran masuk *Wet Gas Meter*.
3. Bahan bakar gas yang keluar dari *Wet Gas Meter* dialirkan ke saluran *burner* untuk dilakukan pembakaran gas.
4. Atur laju aliran gas melalui putaran pengatur laju aliran gas sedemikian hingga pelampung rotameter pada penunjuk aliran gas berada pada posisi 1 cm.
5. Ukur volume gas yang melewati *Wet Gas Meter* dalam selang waktu tertentu sehingga diperoleh debit aliran gas rata-rata yang dialirkan.
6. Lakukan hal yang sama untuk posisi pelampung 2, 3, 4, dan seterusnya untuk langkah penyetaraan 4 dan 5. Dari data tersebut diperoleh tabel data yang dapat diolah untuk mendapatkan persamaan penunjukan tinggi pelampung terhadap laju aliran gas.



Gambar 3.14 Penyetaraan Rotameter Menggunakan Wet Gas Meter

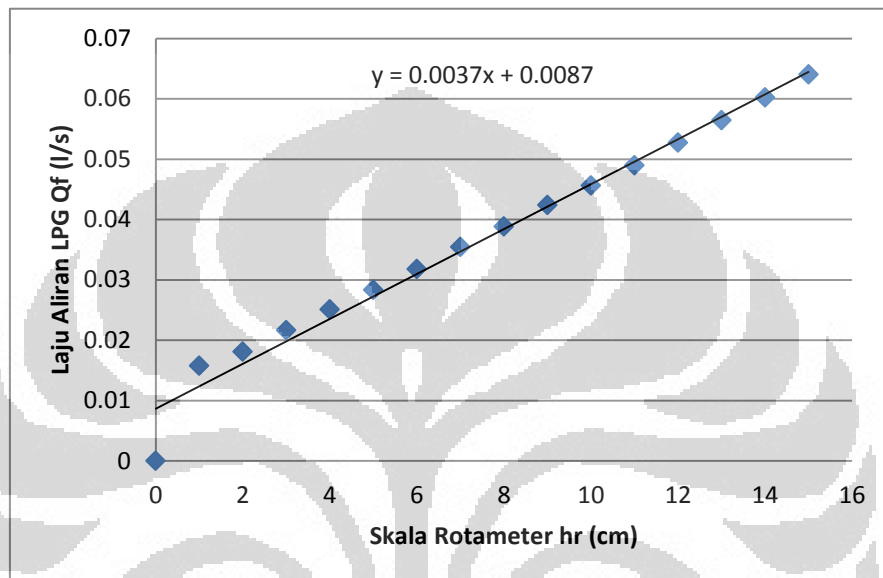
Penyetaraan alat ukur aliran gas elpiji dengan rotameter diberikan pada Tabel 3.14 dimana hubungan antara laju aliran terukur terhadap ketinggian pelampung pada rotameter ditunjukkan dalam Gambar . Dari data penyetaraan tersebut diperoleh hubungan antara laju aliran gas LPG, Q_f dalam l/s, terhadap posisi pelampung rotameter, h_r dalam cm, yang diperlihatkan dalam persamaan 3.1 [16].

$$Q_f = 0,0037 h_r + 0,0087 \quad (3.1)$$

Tabel 3.1 Data Penyetaraan Rotameter Untuk Gas LPG

Skala Rotameter h_r (cm)	Gebit gas Q_f (l/s) $\Delta Q=0.0002$ l/s
0	0
1	0.015749
2	0.018078
3	0.021638
4	0.02508
5	0.028315
6	0.031767
7	0.035414
8	0.038824
9	0.042381
10	0.045581

11	0.048928
12	0.05269
13	0.056438
14	0.060171
15	0.064022



Gambar 3.15 Hubungan Laju Aliran LPG Terukur terhadap Tinggi Pelampung Rotameter

3.3. Pengambilan Data

Langkah-langkah pengambilan data dapat dijelaskan sebagai berikut:

3.3.1. Persiapan Eksperimental Set Up

Membuat dan mempersiapkan eksperimental set up sebagaimana terlihat pada gambar

- Membuat dudukan tabung LPG yang dapat memposisikan tabung pada berbagai variasi sudut kemiringan
- Membuat dudukan pipa acrylic, *pressure transducer* dan *control valve*
- Menginstal program LUTRON SW 801 pada Komputer untuk membaca dan merekam data hasil pengukuran *pressure meter* dan *thermometer*
- Mempersiapkan semua peralatan dan bahan eksperimen.
- Merangkai *eksperimental set up* seperti terlihat pada gambar 3.16

3.3.2. Pengujian Laju Aliran Volume Maksimal pada Regulator

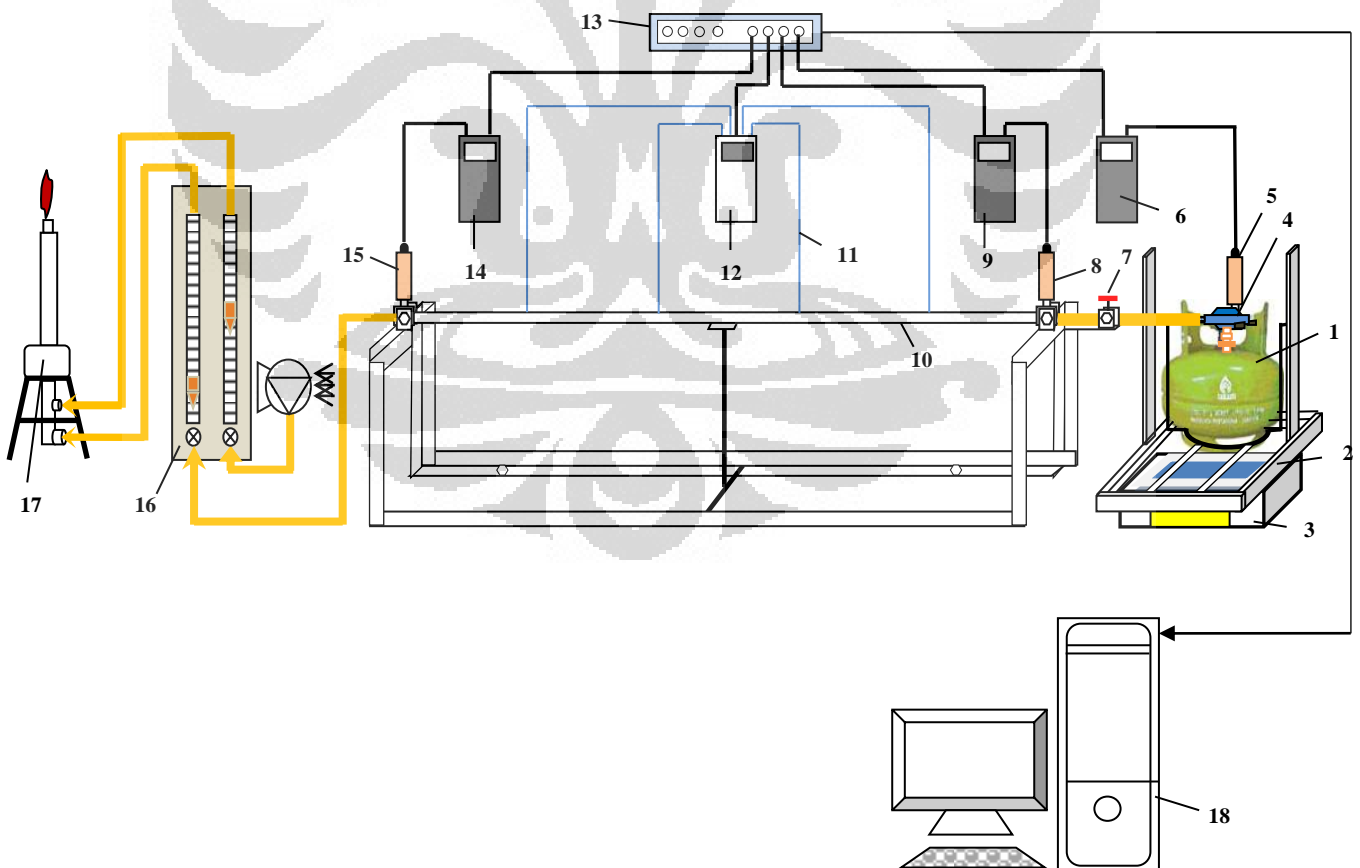
Pengujian laju aliran volume maksimal terjadinya *lock up* pada tiga regulator (diameter outlet: 3, 3.25 dan 3.5 mm) yang akan digunakan untuk eksperimen:

- a. Memasang tabung LPG padaudukan tabung dengan posisi tegak atau sudut kemiringan tabung 0 derajat.
- b. Membuka penuh katup pengontrol aliran gas pada rotameter
- c. Menutup *control valve*
- d. Memasang regulator dengan ukuran diameter outlet 3 mm pada tabung
- e. Membuka sedikit control valve untuk mengalirkan LPG ke burner
- f. Menyalakan burner dengan pemantik
- g. Membuka kembali *control valve* secara perlahan sambil melihat penunjukkan pelampung pada rotameter sampai terjadi *lock up*.
- h. Mengulang kembali langkah a sampai g dengan sudut kemiringan tabung 30, 60 dan 90 derajat
- i. Mengulang kembali langkah a sampai h untuk regulator dengan diameter outlet 3.25 dan 3.5 mm

3.3.3. Melakukan pengambilan data

- a. Memasang tabung LPG padaudukan tabung dengan posisi tegak atau sudut kemiringan tabung 0 derajat.
- b. Menimbang tabung LPG baru untuk memastikan tabung pada kondisi penuh atau massa tabung kurang lebih sebesar 8 kg
- c. Menekan tombol ON pada timbangan digital dan menunggu sampai timbangan menunjukkan angka nol
- d. Meletakkan tabung beserta dudukannya di atas timbangan
- e. Membuka penuh katup pengatur aliran gas pada rotameter
- f. Menutup *control valve*
- g. Menghidupkan komputer dan membuka program LUTRON SW 801
- h. Menghidupkan *pressure meter*, *thermometer digital* dan *converter*
- i. Mengkalibrasi nol semua *pressure meter* dengan menekan tombol *zero*
- j. Memasang regulator dengan ukuran diameter outlet 3 mm pada tabung

- k. Membuka sedikit control valve sehingga LPG mengalir ke burner
- l. Menyalakan burner dengan pemantik
- m. Mengatur *control valve* sampai laju aliran pada rotameter mencapai 0,5 cm di bawah batas *lock up*
- n. Mencatat massa pada timbangan digital dan laju aliran pada rotameter setiap 5 menit atau 300 detik sampai api pada burner padam karena sumbatan uap atau LPG pada tabung telah habis
- o. Mematikan semua peralatan dan menurunkan tabung dan dudukannya dari timbangan
- p. Mengulang langkah a sampai o dengan sudut kemiringan tabung 30, 60 dan 90 derajat
- q. Mengulang langkah a sampai p dengan regulator berdiameter outlet 3.25 dan 3.5 mm



Keterangan:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Tabung LPG 3 Kg | 10. Pipa Acrylic |
| 2. Dudukan Tabung LPG 3 Kg | 11. Thermocouple |
| 3. Timbangan Digital | 12. Thermometer Digital |
| 4. Regulator Tekanan Rendah | 13. Converter |
| 5. Pressure Transducer 1 (10 bar) | 14. Pressure Meter 3 |
| 6. Pressure Meter 1 | 15. Pressure Transducer 3 (2 bar) |
| 7. Control Valve | 16. Rotameter |
| 8. Pressure Transducer 2 (2 bar) | 17. Bunsen Burner |
| 9. Pressure Meter 2 | 18. Unit Komputer |

Gambar 3.16 Skema Pengujian

3.4. Pengolahan Data

3.4.1. Perubahan Laju Aliran Massa terhadap waktu

Untuk mengetahui perubahan laju aliran massa LPG yang mengalir pada saluran LPG, maka dilakukan pengukuran laju aliran massa LPG pada setiap rentang waktu tertentu, dari saat LPG mulai mengalir sampai berhenti mengalir. Laju aliran massa LPG yang keluar dari tabung diukur dari perubahan massa LPG setiap 300 detik, kecuali pada laju aliran massa terakhir pada saat aliran LPG berhenti akibat isi LPG di dalam tabung telah habis atau karena adanya *vapor lock* dan *lock up*. Laju aliran massa LPG yang keluar dari tabung dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\dot{m} = \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (3.2)$$

$$\dot{m} = \frac{m_1 - m_2}{t_2 - t_1} \quad (3.3)$$

3.4.2. Perubahan Laju Aliran Massa Pada Pipa Acrylic

Untuk mengetahui perubahan laju aliran massa LPG yang terjadi pada pipa acrylic, maka dilakukan simulasi menggunakan software *solidwork flow simulation 2012*. Simulasi tersebut dilakukan untuk memperoleh data-data yang tidak dapat diperoleh melalui eksperimen. Data tersebut meliputi densitas dan kecepatan di sepanjang acrylic untuk menghitung laju aliran massa di sepanjang

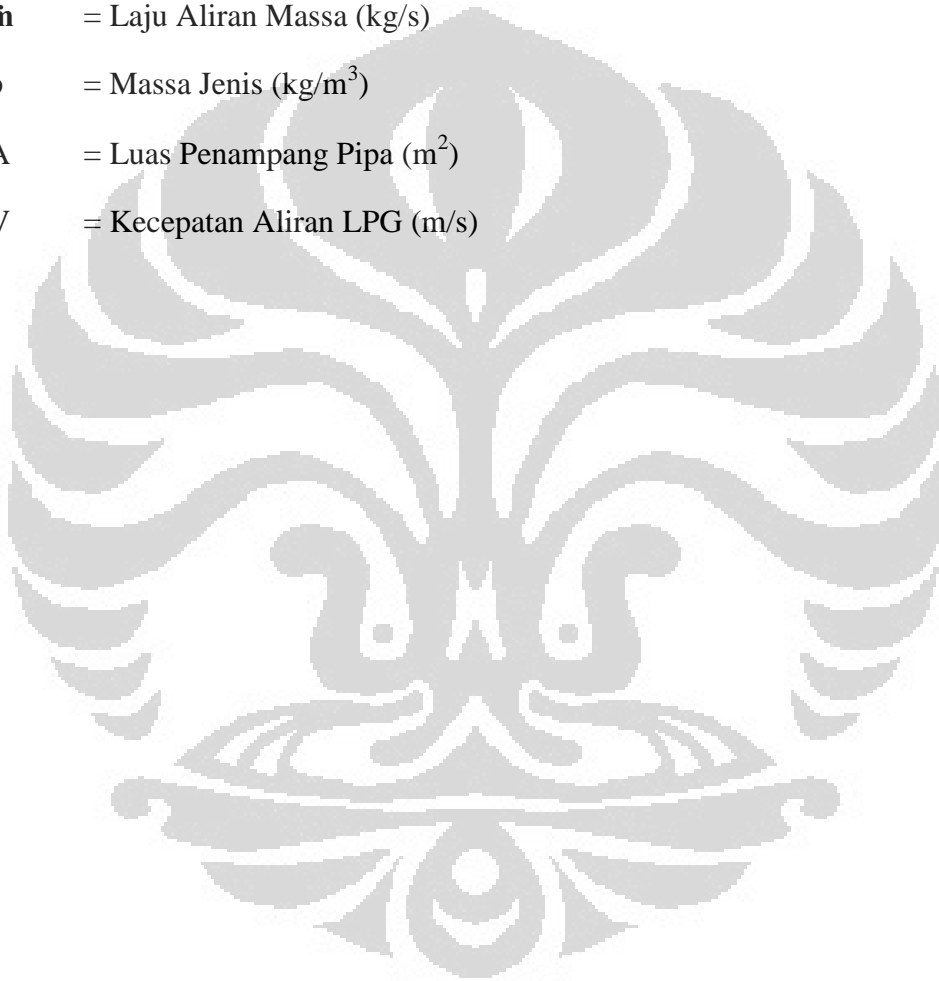
acrylic. Parameter-parameter input yang dimasukkan di simulasi diambil dari data hasil eksperimen.

Data densitas dan kecepatan yang diperoleh dari hasil simulasi kemudian digunakan untuk menghitung laju aliran massa LPG di sepanjang pipa acrylic dengan rumus:

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot V \quad (3.4)$$

Dimana :

- \dot{m} = Laju Aliran Massa (kg/s)
- ρ = Massa Jenis (kg/m³)
- A = Luas Penampang Pipa (m²)
- V = Kecepatan Aliran LPG (m/s)



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

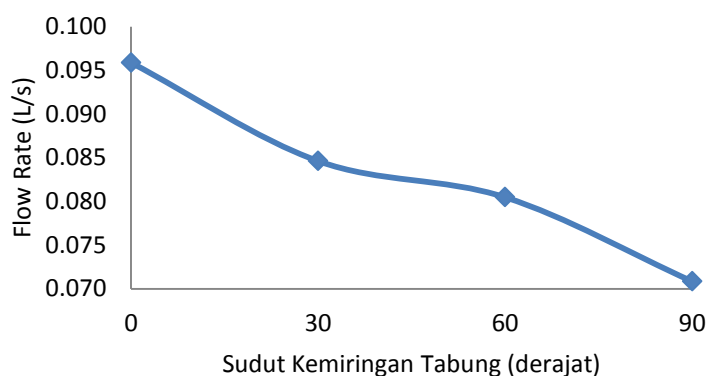
4.1. Laju Aliran Volume Maksimal LPG pada Regulator

Regulator yang digunakan pada eksperimen ini sejumlah 3 buah dengan kapasitas laju aliran 2 kg/jam dan tekanan kerja 300 mmWC. Perbedaan di antara ketiganya terletak pada diameter lubang keluarannya: 3 mm, 3.25 mm dan 3.5 mm. Ketiga regulator tersebut dilengkapi dengan bola gotri pada saluran keluarannya, Bola gotri tersebut akan menutup aliran LPG apabila laju aliran melebihi batas maksimalnya. Dengan demikian, untuk menentukan berapa laju aliran volume LPG pada saat dimulainya eksperimen, maka terlebih dahulu dilakukan pengukuran batas laju aliran volume maksimal dari ketiga regulator dengan variasi sudut kemiringan tabung: 0, 30, 60 dan 90 derajat.

Hasil pengukuran batas laju aliran volume maksimal rata-rata dari regulator dengan diameter keluaran 3 mm yang dirata-rata dari 3 kali pengukuran adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Batas Laju Aliran Volume Maksimal Rata-Rata dari Regulator dengan Diameter Keluaran 3 mm

Sudut kemiringan Tabung (derajat)	Flow Rate Maksimal Rata-Rata (cm)	Flow Rate Maksimal Rata-Rata (l/s)
0	23.56	0.096
30	20.52	0.085
60	19.4	0.080
90	16.8	0.071



Gambar 4.1 Laju Aliran Volume Maksimal Rata-Rata Pada Regulator dengan Diameter Keluaran 3 mm

Dari hasil pengukuran di atas, maka laju aliran volume LPG saat dimulainya eksperimen pada tiap variasi sudut kemiringan tabung di tetapkan sebagai berikut:

Tabel 4.2 Pengaturan Laju Aliran Volume pada Rotameter Saat Mulai Eksperimen untuk Regulator dengan Diameter Keluaran 3 mm

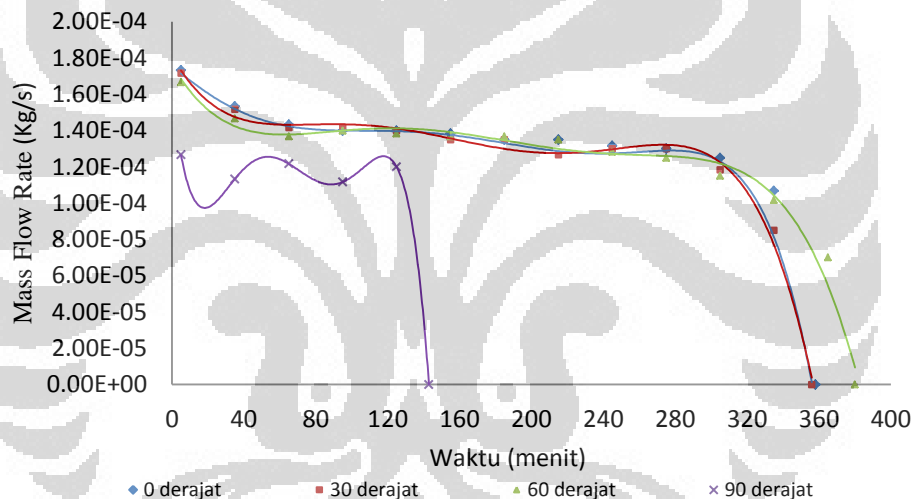
Sudut kemiringan Tabung (derajat)	Volume Flow Rate (cm)	Volume Flow Rate (l/s)
0	23	0.094
30	20	0.083
60	19	0.079
90	16	0.068

Untuk regulator dengan diameter saluran keluar 3.25 mm dan 3.5 mm, sampai pelampung pada rotameter mencapai batas maksimal, bola gotri pada saluran keluar regulator tidak menutup dan LPG terus mengalir ke burner. Dengan demikian, maka laju aliran volume LPG saat dimulainya eksperimen pada tiap variasi sudut kemiringan tabung di atur pada 0.094 l/s atau pada ketinggian pelampung rotameter 23 cm.

4.2. Perubahan Laju Aliran Massa LPG pada Sistem Catu Bahan Bakar Kompur Gas terhadap Waktu

Laju aliran massa pada sistem catu bahan bakar kompor gas dihitung dari perubahan massa LPG setiap 300 detik yang diperoleh dari hasil penimbangan massa tabung menggunakan timbangan digital. Pengukuran laju aliran massa LPG dilakukan sampai aliran LPG berhenti.

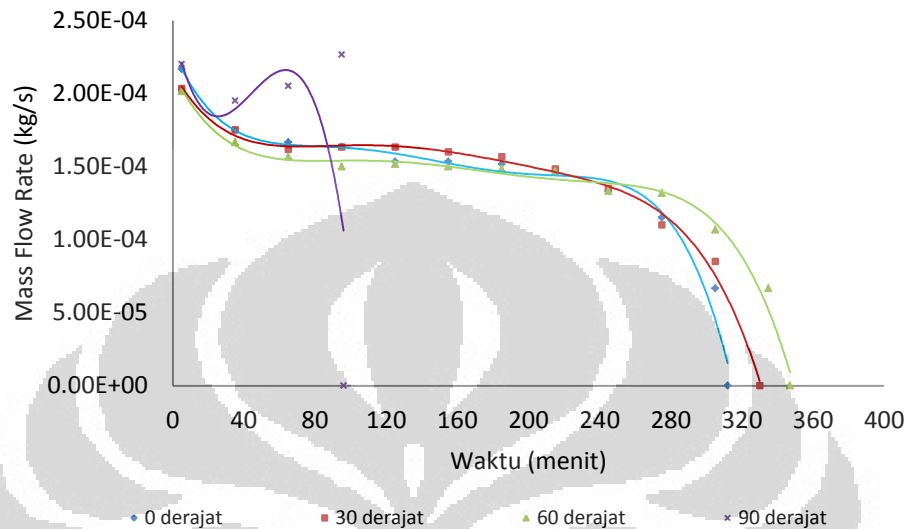
Perubahan laju aliran massa LPG terhadap waktu dengan sudut kemiringan tabung 0, 30, 60 dan 90 derajat dengan regulator berdiameter outlet 3 mm dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Perubahan Laju Aliran Massa LPG terhadap Waktu dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung dengan Diameter Keluaran Regulator 3 mm

Laju aliran volume untuk tiap-tiap sudut kemiringan tabung (0, 30, 60 dan 90 derajat) di awal pengambilan data diatur menggunakan *control valve* di bawah batas *lock up* dan dibiarkan sampai aliran LPG berhenti. Pada sudut kemiringan tabung 0, 30 dan 60 derajat, LPG terus mengalir sampai isi tabung habis. Akan tetapi pada posisi sudut kemiringan tabung 90 derajat, terjadi *regulator lock up* pada menit ke-143. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh adanya *vapor lock* di sepanjang pipa acrylic, dimana hal ini akan dianalisa melalui simulasi CFD

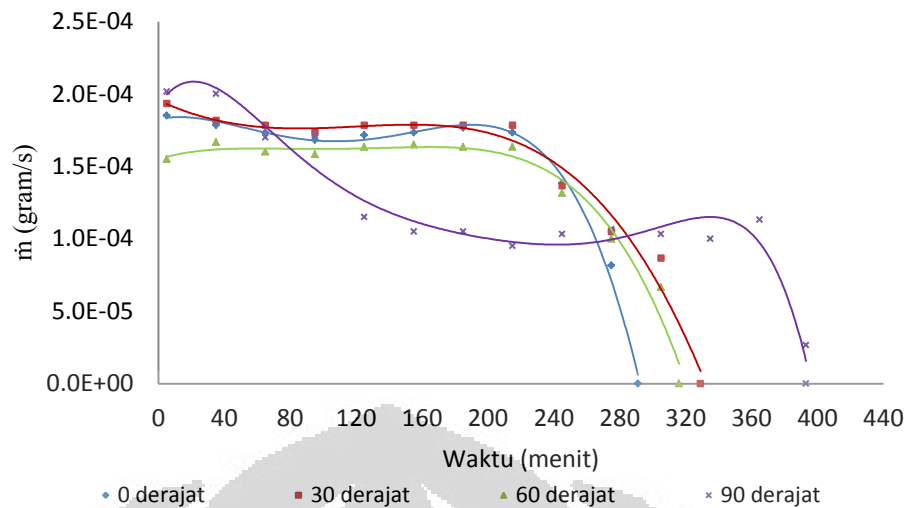
Perubahan laju aliran massa LPG terhadap waktu dengan sudut kemiringan tabung 0, 30, 60 dan 90 derajat dengan regulator berdiameter outlet 3.25 mm dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Perubahan Laju Aliran Massa LPG terhadap Waktu dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung dengan Diameter Keluaran Regulator 3.25 mm

Laju aliran volume untuk tiap-tiap sudut kemiringan tabung (0, 30, 60 dan 90 derajat) di awal pengambilan data diatur menggunakan *control valve* di bawah batas *lock up* dan dibiarkan sampai aliran LPG berhenti. Pada sudut kemiringan tabung 0, 30 dan 60 derajat, LPG terus mengalir sampai isi tabung habis. Akan tetapi pada posisi sudut kemiringan tabung 90 derajat, terjadi *regulator lock up* pada menit ke-95. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh adanya *vapor lock* di sepanjang pipa acrylic, dimana hal ini akan dianalisa melalui simulasi CFD

Perubahan laju aliran massa LPG terhadap waktu dengan sudut kemiringan tabung 0, 30, 60 dan 90 derajat dengan regulator berdiameter outlet 3.5 mm dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Perubahan Laju Aliran Massa LPG terhadap Waktu dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung dengan Diameter Keluaran Regulator 3.5 mm

Laju aliran volume untuk tiap-tiap sudut kemiringan tabung (0, 30, 60 dan 90 derajat) di awal pengambilan data diatur menggunakan *control valve* di bawah batas *lock up* dan dibiarkan sampai aliran LPG berhenti. Pada sudut kemiringan tabung 0, 30 dan 60 derajat, LPG terus mengalir sampai isi tabung habis. Pada posisi sudut kemiringan tabung 90 derajat terjadi penurunan laju aliran massa yang sangat tajam pada menit ke 95, namun tidak sampai terjadi *lock up* pada regulator. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh adanya *vapor lock* di sepanjang pipa acrylic, dimana hal ini akan dianalisa melalui simulasi CFD. Jika dibandingkan dengan kedua regulator sebelumnya, laju aliran massa lebih besar dan lebih stabil. Hal inilah yang menyebabkan tidak sampai terjadi *lock up* walaupun terjadi *vapor lock*.

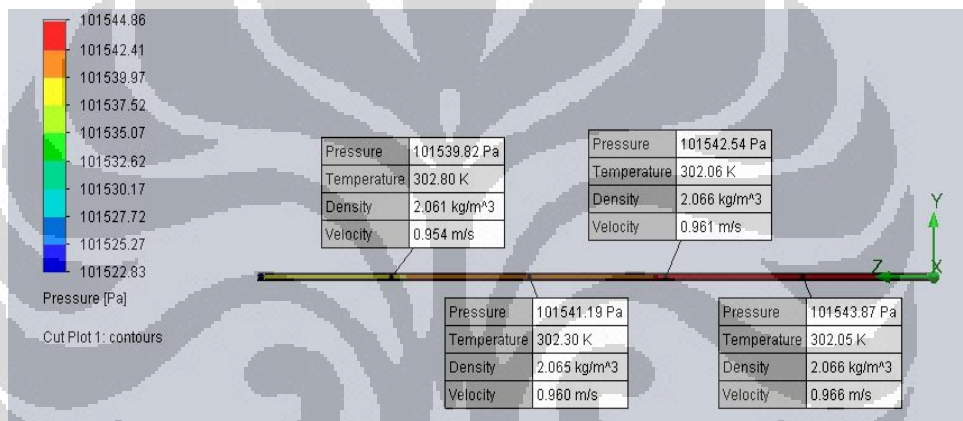
4.3. Hasil Simulasi CFD

Simulasi CFD dilakukan untuk mengetahui distribusi densitas dan kecepatan di sepanjang pipa. Simulasi dilakukan menggunakan *Software Solidwork Flow Simulation 2012*. Dari grafik perubahan laju aliran massa terhadap waktu di atas, pada sudut kemiringan tabung 0 dan 30 dari 3 regulator yang berbeda menunjukkan *trendline* yang hampir sama. Untuk itu, simulasi dilakukan pada sudut 0, 60 dan 90 derajat.

Karena untuk tiap sudut kemiringan datanya sangat banyak, maka harus dipilih data yang akan dijadikan sebagai parameter input simulasi. Dengan melihat *trendline* perubahan laju aliran massa terhadap waktu di atas, ketika tabung diposisikan pada sudut kemiringan 90 derajat, pada menit ke-80 mulai terjadi perubahan laju aliran yang tajam. Maka ditentukan data-data pada menit ke-80 untuk dijadikan sebagai parameter input simulasi. Hasil simulasi kemudian diplot ke dalam bentuk grafik supaya lebih mudah untuk menganalisisnya.

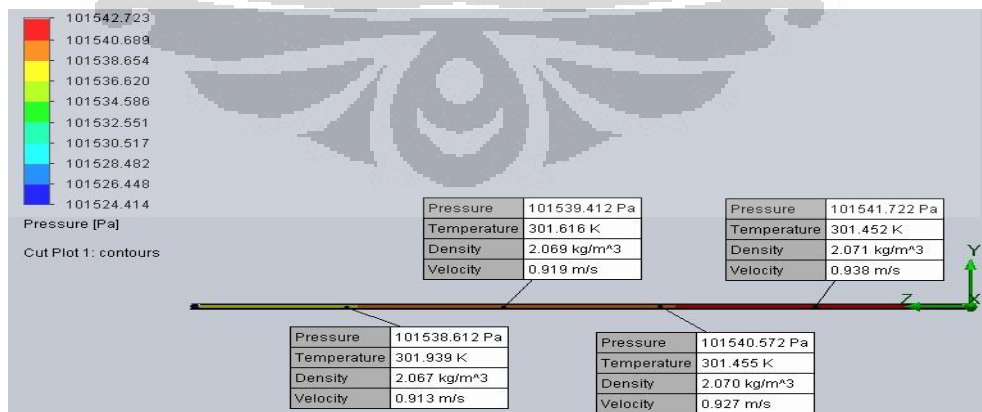
Untuk regulator dengan diameter lubang outlet 3 mm, hasil simulasinya adalah sebagai berikut:

- Sudut Kemiringan Tabung 0 Derajat



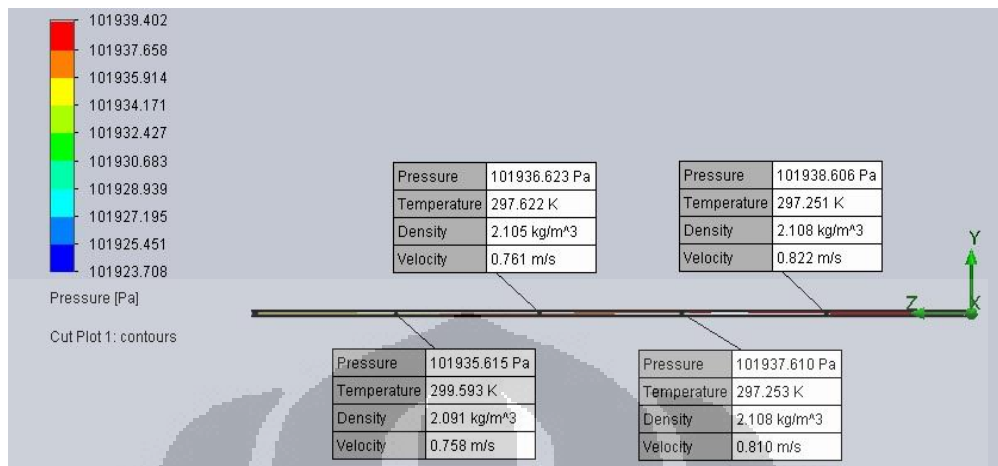
Gambar 4.5 Hasil Simulasi Aliran LPG di Sepanjang Pipa dengan Sudut Kemiringan Tabung 0 Derajat Menggunakan Regulator dengan Diameter Outlet 3 mm

- Sudut Kemiringan Tabung 60 Derajat



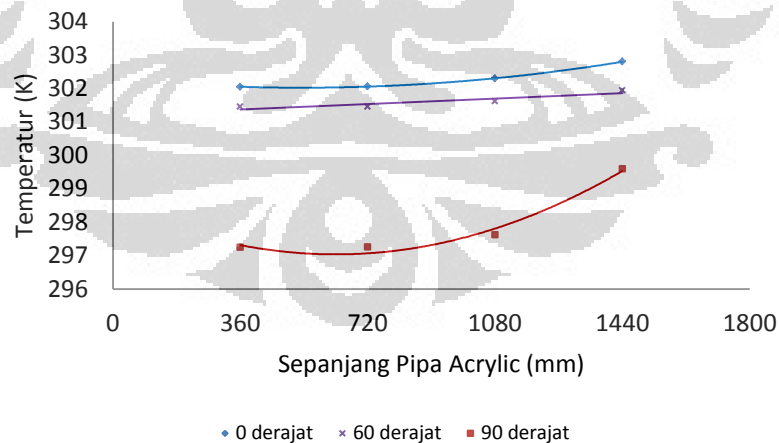
Gambar 4.6 Hasil Simulasi Aliran LPG di Sepanjang Pipa dengan Sudut Kemiringan Tabung 60 Derajat Menggunakan Regulator dengan Diameter Outlet 3 mm

- Sudut Kemiringan Tabung 90 Derajat

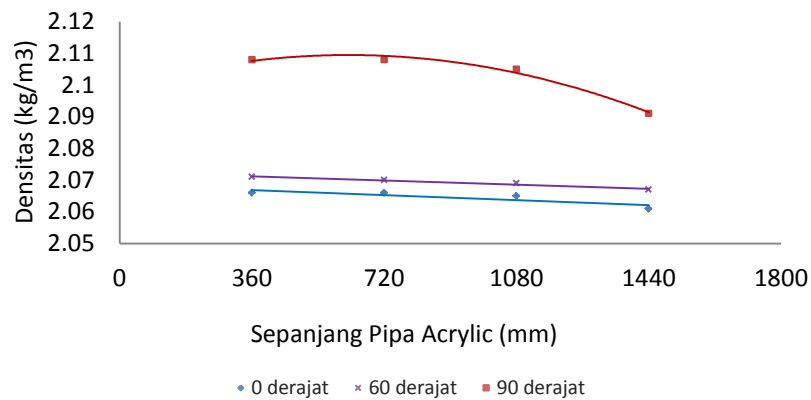


Gambar 4.7 Hasil Simulasi Aliran LPG di Sepanjang Pipa dengan Sudut Kemiringan Tabung 90 Derajat Menggunakan Regulator dengan Diameter Outlet 3 mm

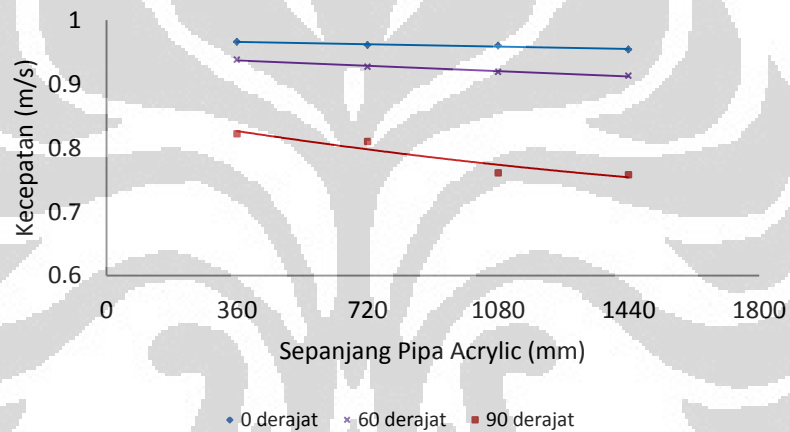
Dari hasil simulasi diatas dapat dilihat bahwa dari ketiga variasi sudut kemiringan 0, 60 dan 90 derajat, di sepanjang pipa acrylic terjadi penurunan tekanan, densitas dan kecepatan. Sedangkan temperaturnya mengalami kenaikan. Supaya lebih jelas, maka data hasil simulasi tersebut dibuat dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 4.8 Temperatur di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3 mm



Gambar 4.9 Densitas di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3 mm



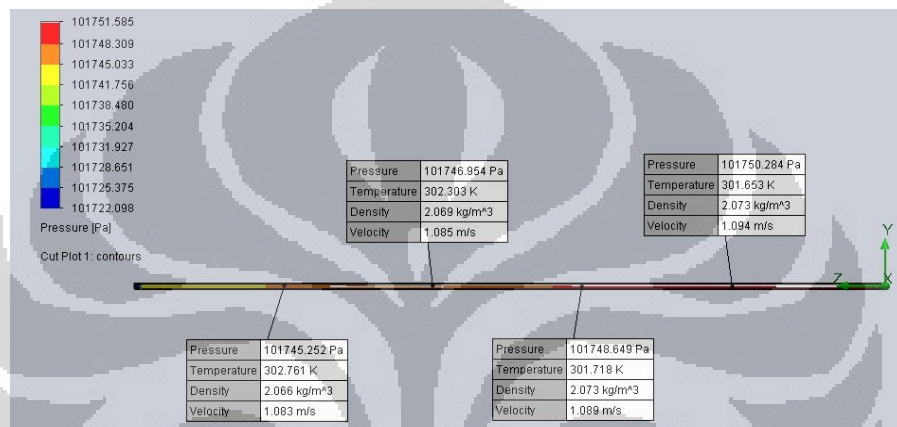
Gambar 4.10 Kecepatan di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3 mm

Temperatur di sepanjang pipa mengalami kenaikan dari lubang masuk sampai keluar. Hal ini sesuai dengan hasil eksperimen. Kenaikan paling tajam terjadi pada sudut kemiringan tabung 90 derajat. Sementara itu, kerapatan (densitas) dan kecepatan di sepanjang pipa mengalami penurunan dari lubang masuk sampai keluar pipa. Penurunan densitas dan kecepatan paling tajam terjadi pada sudut kemiringan tabung 90 derajat. Pada sudut kemiringan tabung 0 dan 60 derajat, LPG yang keluar dari tabung berupa uap, sehingga proses penurunan densitas yang terjadi lebih rendah dibandingkan yang terjadi pada sudut kemiringan 90 derajat dimana LPG yang mengalir dari tabung berfasa cair.

Penurunan densitas LPG tersebut akan menyebabkan terjadinya kenaikan volume spesifik, sehingga terjadi ekspansi volume yang menyebabkan terjadinya sumbatan uap (*vapor lock*) di sepanjang pipa. Sumbatan uap inilah yang mengakibatkan terjadinya penurunan kecepatan di sepanjang pipa.

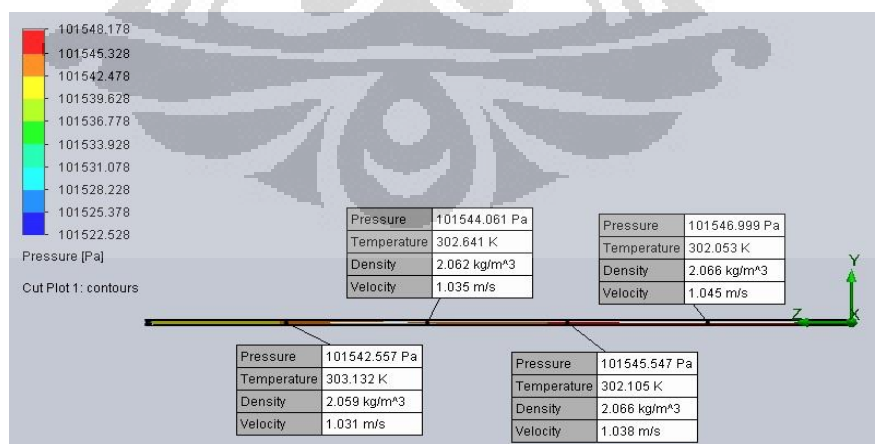
Untuk regulator dengan diameter lubang keluaran 3.25 mm, hasil simulasinya adalah sebagai berikut:

- Sudut Kemiringan Tabung 0 Derajat



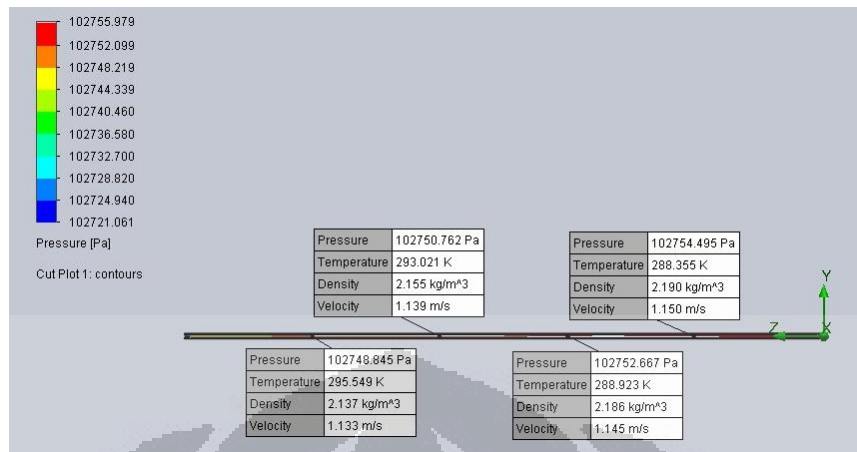
Gambar 4.11 Hasil Simulasi Aliran LPG di Sepanjang Pipa dengan Sudut Kemiringan Tabung 0 Derajat Menggunakan Regulator dengan Diameter Outlet 3.25 mm

- Sudut Kemiringan Tabung 60 Derajat



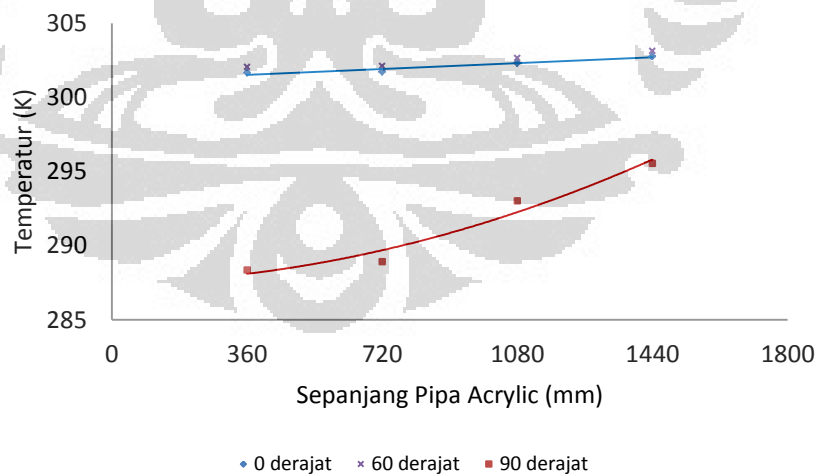
Gambar 4.12 Hasil Simulasi Aliran LPG di Sepanjang Pipa dengan Sudut Kemiringan Tabung 60 Derajat Menggunakan Regulator dengan Diameter Outlet 3.25 mm

- Sudut Kemiringan Tabung 90 Derajat

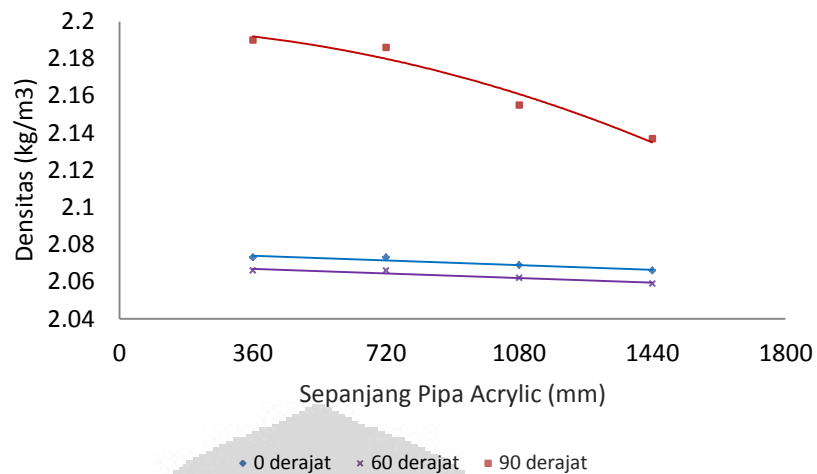


Gambar 4.13 Hasil Simulasi Aliran LPG di Sepanjang Pipa dengan Sudut Kemiringan Tabung 90 Derajat Menggunakan Regulator dengan Diameter Outlet 3.25 mm

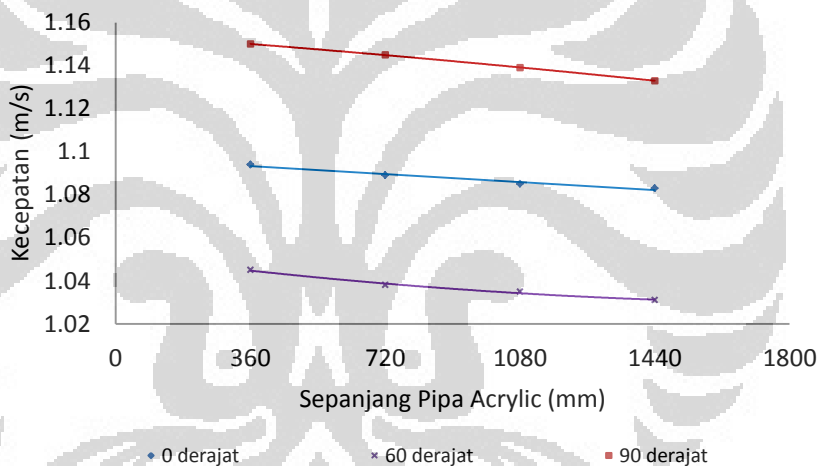
Dari hasil simulasi diatas dapat dilihat bahwa dari ketiga variasi sudut kemiringan 0, 60 dan 90 derajat, di sepanjang pipa acrylic terjadi penurunan tekanan, densitas dan kecepatan. Sedangkan temperaturnya mengalami kenaikan. Supaya lebih jelas, maka data hasil simulasi tersebut dibuat dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 4.14 Temperatur di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3.25 mm



Gambar 4.15 Densitas di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3.25 mm



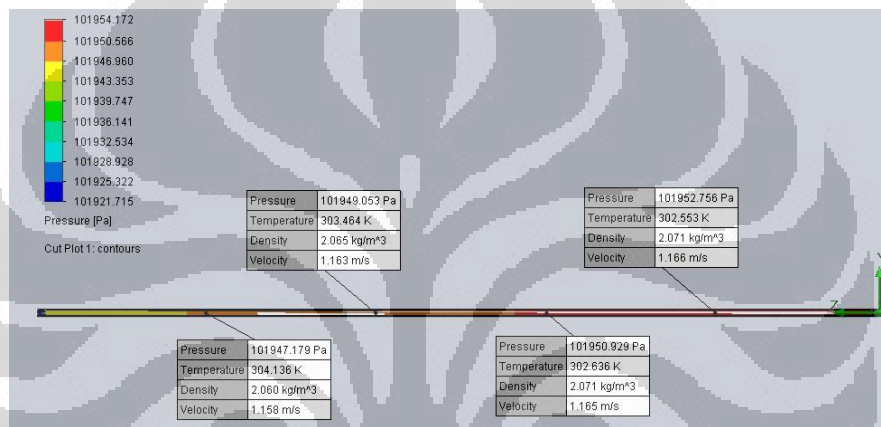
Gambar 4.16 Kecepatan di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3.25 mm

Temperatur di sepanjang pipa mengalami kenaikan dari lubang masuk sampai keluar. Hal ini sesuai dengan hasil eksperimen. Kenaikan paling tajam terjadi pada sudut kemiringan tabung 90 derajat. Sementara itu, kerapatan (densitas) dan kecepatan di sepanjang pipa mengalami penurunan dari lubang masuk sampai keluar pipa. Penurunan densitas dan kecepatan paling tajam terjadi pada sudut kemiringan tabung 90 derajat. Pada sudut kemiringan tabung 0 dan 60 derajat, LPG yang keluar dari tabung berupa uap, sehingga proses penurunan

densitas yang terjadi lebih rendah dibandingkan yang terjadi pada sudut kemiringan 90 derajat dimana LPG yang keluar dari tabung berfase cair. Penurunan densitas LPG tersebut akan menyebabkan terjadinya kenaikan volume spesifik, sehingga terjadi ekspansi volume yang menyebabkan terjadinya sumbatan uap (*vapor lock*) di sepanjang pipa. Sumbatan uap inilah yang mengakibatkan terjadinya penurunan kecepatan di sepanjang pipa.

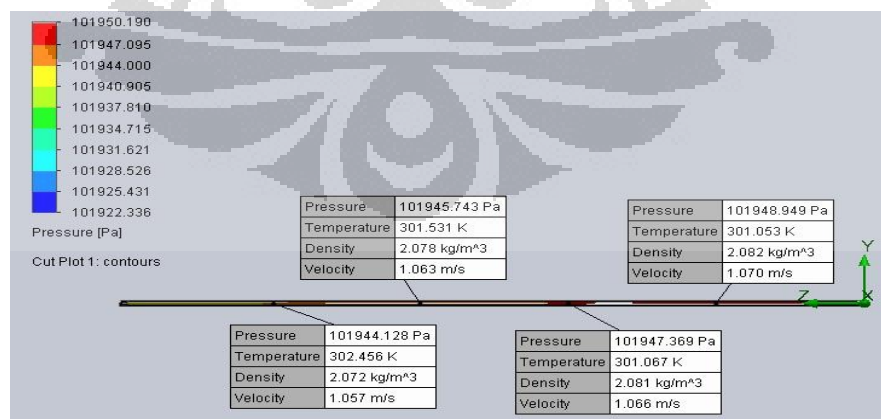
Untuk regulator dengan diameter lubang keluaran 3.5 mm, hasil simulasinya adalah sebagai berikut:

- Sudut Kemiringan Tabung 0 Derajat



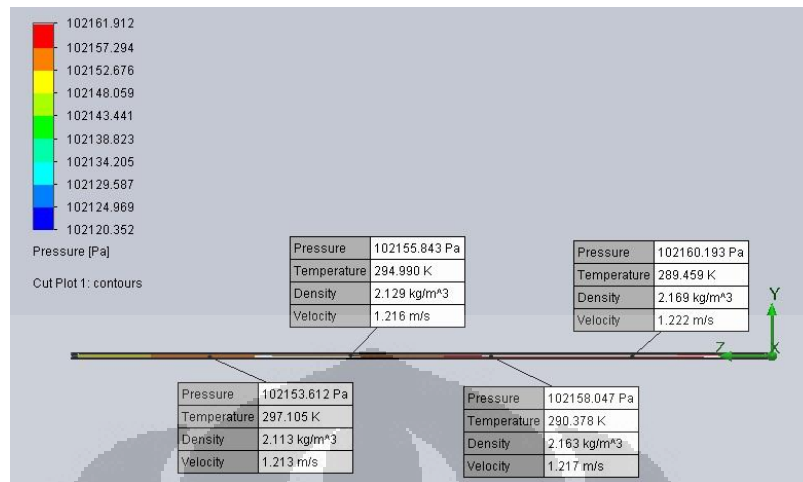
Gambar 4.17 Hasil Simulasi Aliran LPG di Sepanjang Pipa dengan Sudut Kemiringan Tabung 0 Derajat Menggunakan Regulator dengan Diameter Outlet 3.5 mm

- Sudut Kemiringan Tabung 60 Derajat



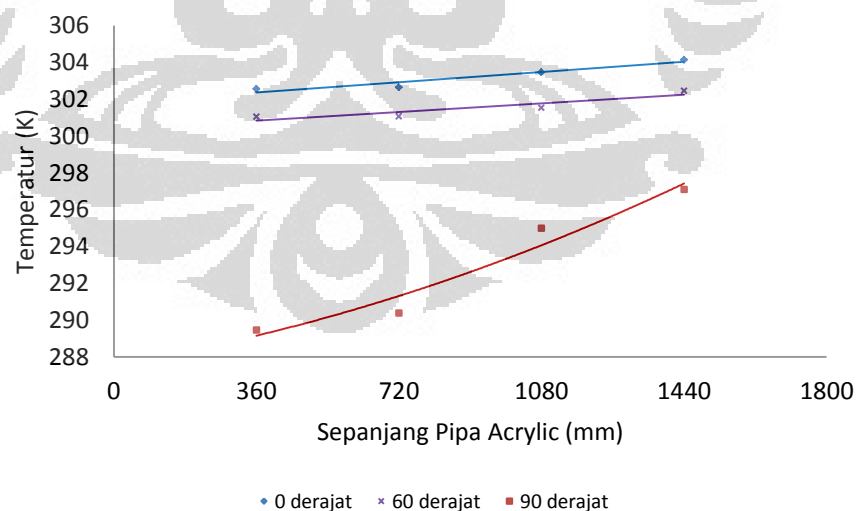
Gambar 4.18 Hasil Simulasi Aliran LPG di Sepanjang Pipa dengan Sudut Kemiringan Tabung 60 Derajat Menggunakan Regulator dengan Diameter Outlet 3.5 mm

- Sudut Kemiringan Tabung 90 Derajat

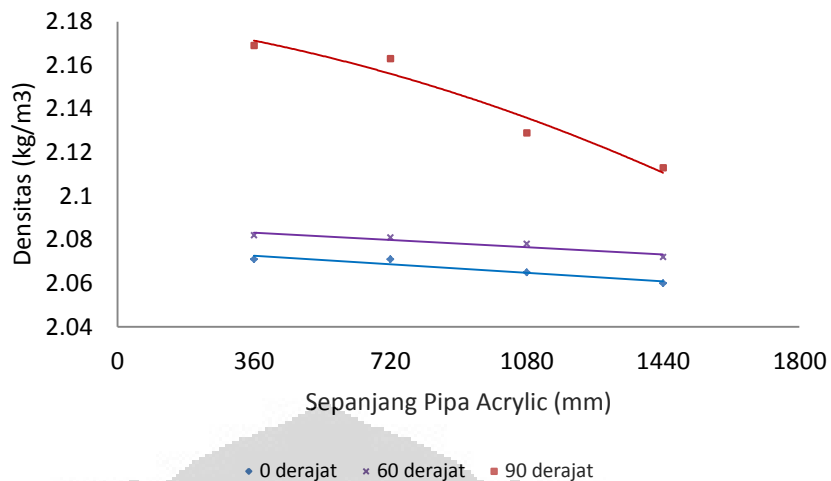


Gambar 4.19 Hasil Simulasi Aliran LPG di Sepanjang Pipa dengan Sudut Kemiringan Tabung 90 Derajat Menggunakan Regulator dengan Diameter Outlet 3.5 mm

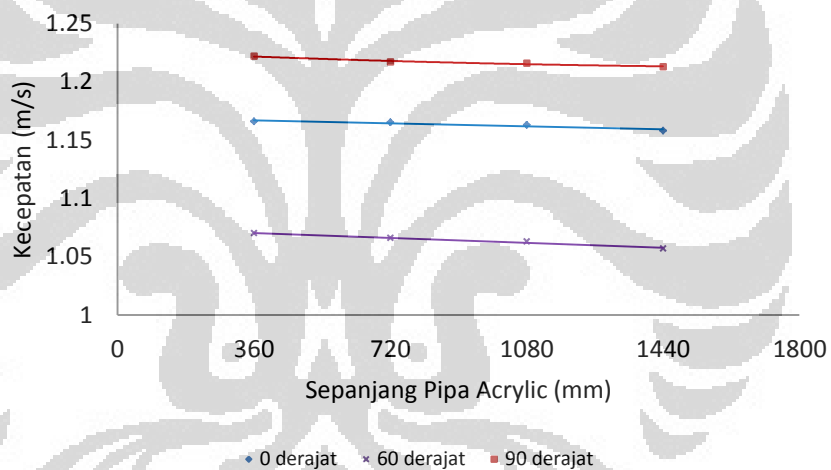
Sama halnya dengan 2 regulator dengan diameter outlet 3 dan 3.25 mm, bahwa dari ketiga variasi sudut kemiringan 0, 60 dan 90 derajat, di sepanjang pipa acrylic terjadi penurunan tekanan, densitas dan kecepatan. Sedangkan temperaturnya mengalami kenaikan. Supaya lebih jelas, maka data hasil simulasi tersebut dibuat dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 4.20 Temperatur di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3.5 mm



Gambar 4.21 Densitas di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3.5 mm



Gambar 4.22 Kecepatan di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3.5 mm

Seperti halnya pada kedua regulator sebelumnya, temperatur di sepanjang pipa mengalami kenaikan dari lubang masuk sampai keluar. Hal ini sesuai dengan hasil eksperimen. Kenaikan paling tajam terjadi pada sudut kemiringan tabung 90 derajat. Sementara itu, kerapatan (densitas) dan kecepatan di sepanjang pipa mengalami penurunan dari lubang masuk sampai keluar. Penurunan densitas dan kecepatan paling tajam terjadi pada sudut kemiringan tabung 90 derajat. Pada sudut kemiringan tabung 0 dan 60 derajat, LPG yang keluar dari tabung berupa

uap, sehingga proses penurunan densitas yang terjadi lebih rendah dibandingkan yang terjadi pada sudut kemiringan 90 derajat. Penurunan densitas LPG tersebut akan menyebabkan terjadinya kenaikan volume spesifik, sehingga terjadi ekspansi volume yang menyebabkan terjadinya sumbatan uap (*vapor lock*) di sepanjang pipa. Sumbatan uap inilah yang mengakibatkan terjadinya penurunan kecepatan di sepanjang pipa.

4.4. Perubahan Laju Aliran Massa di Sepanjang Pipa

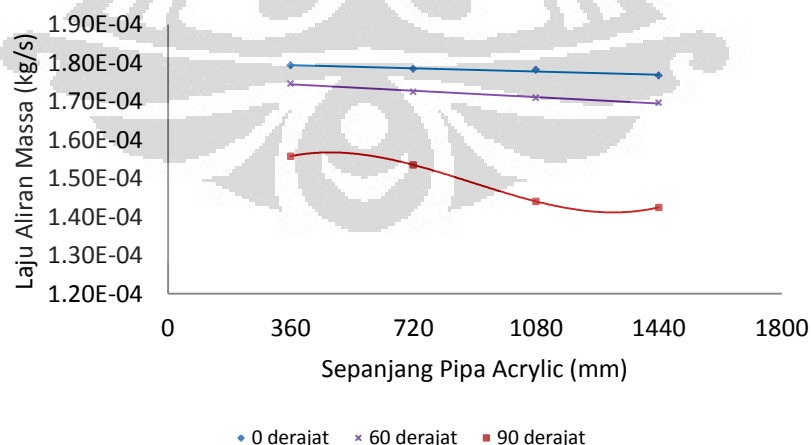
Data densitas dan kecepatan yang diperoleh dari hasil simulasi di atas kemudian digunakan untuk menghitung laju aliran massa LPG di sepanjang pipa acrylic dengan rumus:

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot V$$

Dimana :

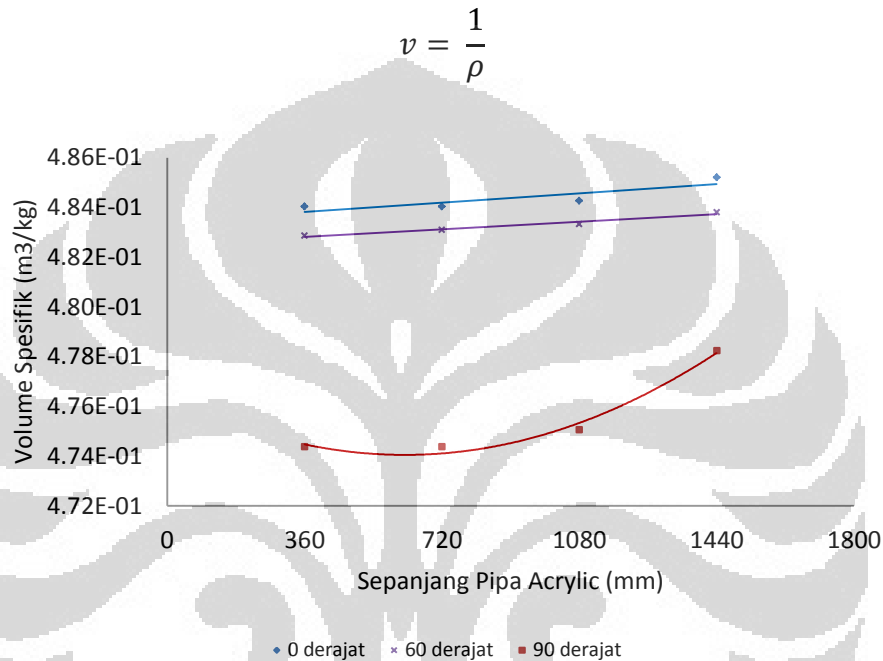
- \dot{m} = Laju Aliran Massa (kg/s)
- ρ = Massa Jenis (kg/m³)
- A = Luas Penampang Pipa (m²)
- V = Kecepatan Aliran LPG (m/s)

Hasil perhitungan laju aliran massa LPG di sepanjang pipa acrylic dari regulator berdiameter keluaran 3 mm dengan variasi sudut kemiringan tabung dapat dilihat pada gambar 4.23 berikut:



Gambar 4.23 Laju Aliran Massa di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3 mm

Laju aliran Massa di sepanjang pipa mengalami penurunan dari lubang masuk sampai keluar pipa. Penurunan paling tajam terjadi pada sudut kemiringan tabung 90 derajat. Hal ini disebabkan oleh penurunan densitas yang tajam disertai dengan penurunan kecepatan LPG di sepanjang pipa. Penurunan densitas yang tajam tersebut mengakibatkan peningkatan volume spesifik yang tajam, karena volume spesifik merupakan fungsi kebalikan dari densitas:

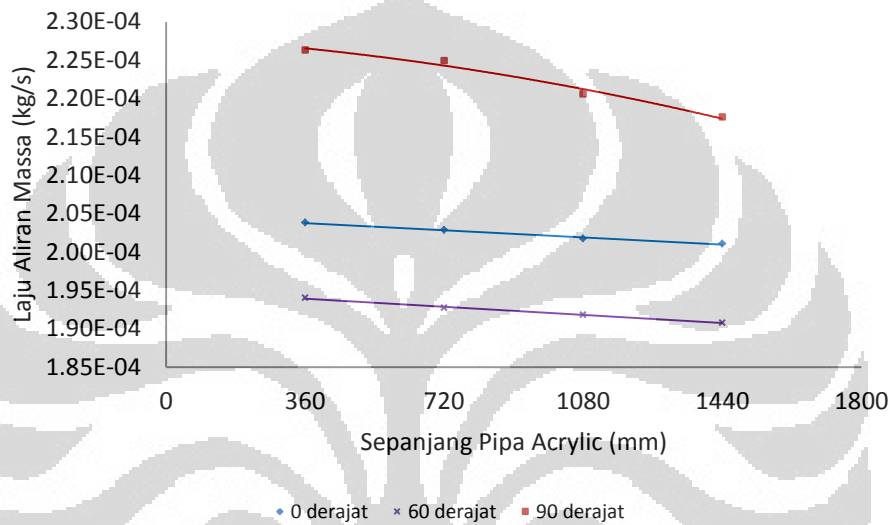


Gambar 4.24 Volume Spesifik di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3 mm

Volume spesifik LPG di sepanjang pipa acrylic mengalami kenaikan dari lubang masuk sampai keluar pipa. Peningkatan volume spesifik tersebut diikuti dengan terjadinya ekspansi volume di sepanjang pipa, sehingga terjadi sumbatan uap (*vapor lock*) yang akan menghambat laju aliran LPG. Dengan demikian terjadi penurunan laju aliran LPG di sepanjang pipa atau menyebabkan terjadinya ketidakstabilan laju aliran LPG. Sumbatan uap ini akan diikuti dengan peningkatan tekanan di dalam saluran keluar regulator, sehingga menyebabkan

terjadinya regulator *lock up* sehingga bola gotri pada saluran keluar akan menutup lubang keluar regulator.

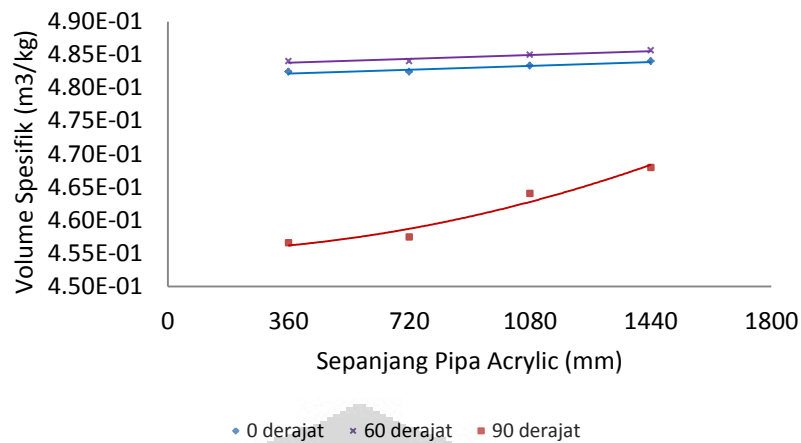
Hasil perhitungan laju aliran massa LPG di sepanjang pipa acrylic dari regulator berdiameter keluaran 3.25 mm dengan variasi sudut kemiringan tabung dapat dilihat pada gambar 4.25 berikut:



Gambar 4.25 Laju Aliran Massa di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3.25 mm

Laju aliran Massa di sepanjang pipa mengalami penurunan dari lubang masuk sampai keluar pipa. Penurunan paling tajam terjadi pada sudut kemiringan tabung 90 derajat. Hal ini disebabkan oleh penurunan densitas yang tajam disertai dengan penurunan kecepatan LPG di sepanjang pipa. Penurunan densitas yang tajam tersebut mengakibatkan peningkatan volume spesifik yang tajam, karena volume spesifik merupakan fungsi kebalikan dari densitas:

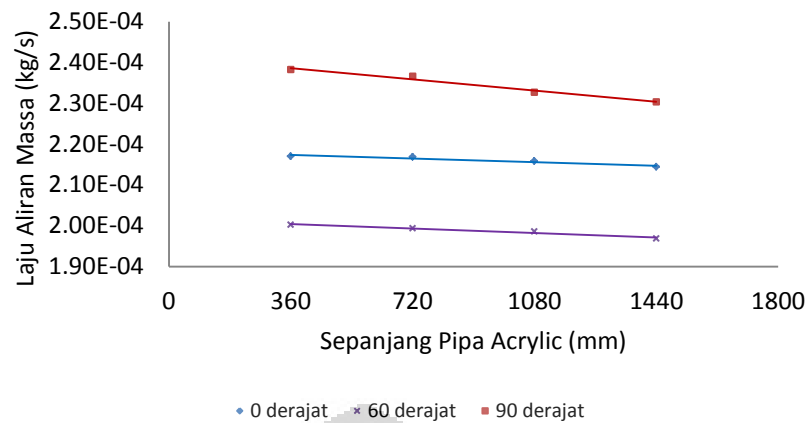
$$v = \frac{1}{\rho}$$



Gambar 4.26 Volume Spesifik di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3.25 mm

Volume spesifik LPG di sepanjang pipa acrylic mengalami kenaikan dari lubang masuk sampai keluar pipa. Peningkatan volume spesifik tersebut diikuti dengan terjadinya ekspansi volume di sepanjang pipa, sehingga terjadi sumbatan uap (*vapor lock*) yang akan menghambat laju aliran LPG. Dengan demikian terjadi penurunan laju aliran LPG di sepanjang pipa atau menyebabkan terjadinya ketidakstabilan laju aliran LPG. Sumbatan uap ini akan diikuti dengan peningkatan tekanan di dalam saluran keluar regulator, sehingga menyebabkan terjadinya regulator *lock up* sehingga bola gotri pada saluran keluar akan menutup lubang keluar regulator.

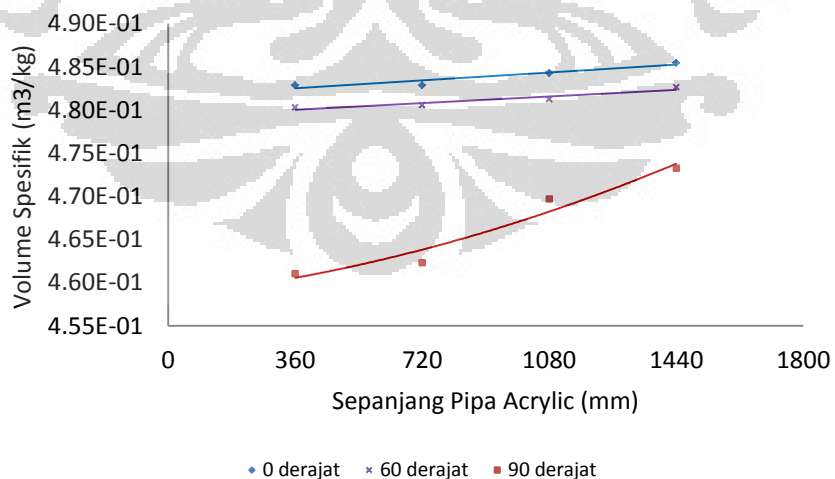
Hasil perhitungan laju aliran massa LPG di sepanjang pipa acrylic dari regulator berdiameter keluaran 3.5 mm dengan variasi sudut kemiringan tabung dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.27 Laju Aliran Massa di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3.5 mm

Laju aliran Massa di sepanjang pipa mengalami penurunan dari lubang masuk sampai keluar pipa. Penurunan paling tajam terjadi pada sudut kemiringan tabung 90 derajat. Hal ini disebabkan oleh penurunan densitas yang tajam disertai dengan penurunan kecepatan LPG di sepanjang pipa. Penurunan densitas yang tajam tersebut mengakibatkan peningkatan volume spesifik yang tajam, karena volume spesifik merupakan fungsi kebalikan dari densitas:

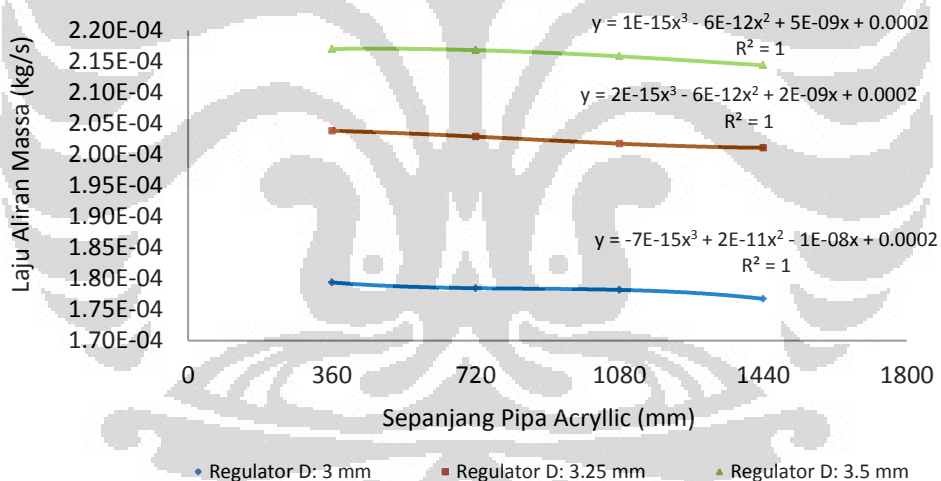
$$v = \frac{1}{\rho}$$



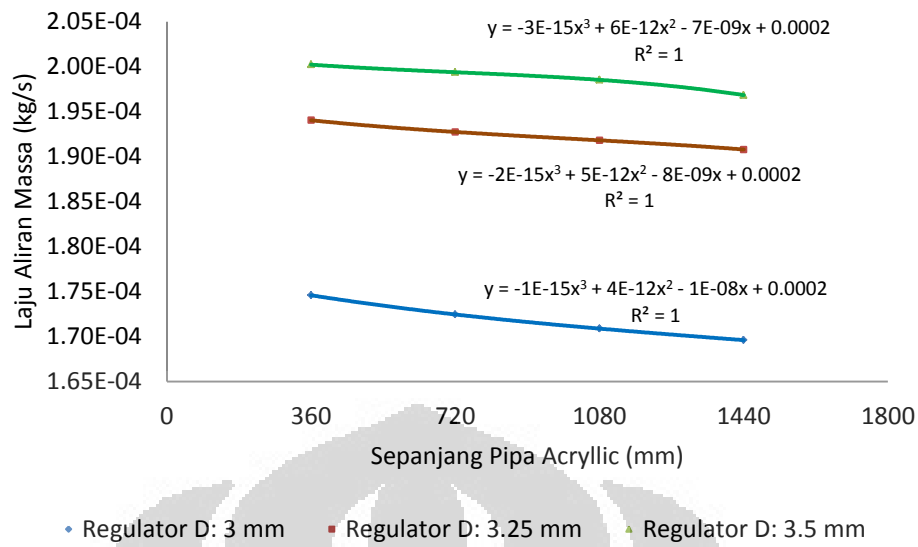
Gambar 4.28 Volume Spesifik di Sepanjang Pipa dengan Variasi Sudut Kemiringan Tabung Menggunakan Regulator dengan Diameter Keluaran 3.5 mm

Volume spesifik LPG di sepanjang pipa acrylic mengalami kenaikan dari lubang masuk sampai keluar pipa. Peningkatan volume spesifik tersebut diikuti dengan terjadinya ekspansi volume di sepanjang pipa, sehingga terjadi sumbatan uap (*vapor lock*) yang akan menghambat laju aliran LPG. Dengan demikian terjadi penurunan laju aliran LPG di sepanjang pipa atau menyebabkan terjadinya ketidakstabilan laju aliran LPG. Namun karena diameter keluaran regulator besar, aliran LPG di dalam saluran keluar regulator mampu melawan hambatan akibat sumbatan uap di sepanjang pipa. Dengan demikian, LPG dapat terus mengalir dengan laju aliran yang rendah.

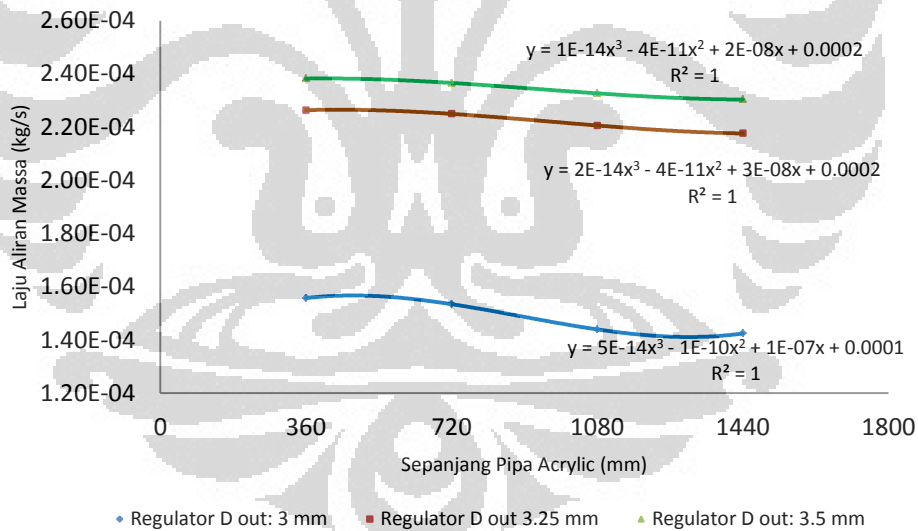
Sementara itu, laju aliran massa di sepanjang pipa acrylic dari ketiga regulator pada sudut kemiringan tabung 0, 60 dan 90 derajat dapat dilihat pada gambar 4.29, 4.30 dan 4.31 di bawah ini:



Gambar 4.29 Laju Aliran Massa LPG di Sepanjang Pipa dengan Variasi Diameter Outlet Regulator Pada Sudut Kemiringan Tabung 0 Derajat



Gambar 4.30 Laju Aliran Massa LPG di Sepanjang Pipa dengan Variasi Diameter Outlet Regulator Pada Sudut Kemiringan Tabung 60 Derajat



Gambar 4.31 Laju Aliran Massa LPG di Sepanjang Pipa dengan Variasi Diameter Outlet Regulator Pada Sudut Kemiringan Tabung 90 Derajat

Dari ketiga gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada sudut kemiringan 0, 60 dan 90 derajat, besarnya laju aliran massa LPG di sepanjang pipa acrylic berbanding lurus dengan besarnya diameter outlet regulator. Semakin besar diameter outlet

regulator, semakin besar pula laju aliran massa diselanjang pipa acrylic. Hal ini yang menyebabkan pada regulator dengan diameter outlet 3.5 mm, aliran LPG yang keluar dari regulator mampu mengatasi sumbatan uap yang terjadi di sepanjang pipa acrylic, sehingga ketika tabung diposisikan pada sudut kemiringan 90 derajat tidak sampai terjadi *lock up*.

4.5. Literature Review

Pada posisi sudut kemiringan tabung 90 derajat, densitas LPG yang mengalir ke dalam pipa acrylic jauh lebih tinggi dibandingkan dengan pada sudut kemiringan tabung 0 sampai 60 derajat. Hal ini dikarenakan LPG yang mengalir dari tabung ke regulator berfasa cair. Tingginya densitas LPG yang masuk ke pipa acrylic tersebut akan menyebabkan terjadinya peningkatan bilangan reynold yang berarti terjadi peningkatan turbulensi aliran. Hal ini sesuai dengan persamaan 2.7:

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu}$$

Dengan terjadinya peningkatan turbulensi aliran dan adanya faktor gesekan antara LPG dengan dinding pipa, maka akan menyebabkan terjadinya peningkatan temperature. Hal ini sesuai dengan hasil eksperimen dan simulasi yang menunjukkan bahwa di sepanjang pipa acrylic terjadi peningkatan temperature. Selanjutnya peningkatan temperature tersebut akan menyebabkan densitas LPG semakin menurun. Penurunan densitas tersebut menyebabkan terjadinya ekspansi volume sehingga terjadi sumbatan uap (*vapor lock*) di sepanjang pipa. Sumbatan uap ini menyebabkan kecepatan aliran LPG menurun. Fenomena sumbatan uap inilah yang menyebabkan temperature tetap mengalami kenaikan di sepanjang pipa acrylic meskipun densitas mengalami penurunan. Hal ini sesuai dengan fenomena *vapor lock* yang terjadi pada gasoline yang diteliti oleh Augusto (1994) Augusto mengemukakan bahwa ketika *vapor lock* terjadi, laju aliran bahan bakar dan tekanan pada saluran keluar turun, sedangkan temperature pada saluran bahan bakar naik.

Selain peningkatan temperatur dan penurunan laju aliran massa di sepanjang saluran bahan bakar yang diakibatkan oleh terjadinya *vapor lock*, pada sudut kemiringan tabung 90 derajat juga terjadi fluktuasi laju aliran massa LPG. Hal ini terjadi pula di dalam penelitian yang dilakukan oleh Andrew Campbell Lee (2003) yang membahas fenomena *vapor lock* pada saluran bahan bakar diesel. Di dalam penelitiannya, Andrew Campbell membandingkan antara fenomena aliran dengan diberikan pendingin dan tanpa pendingin. Dengan diberikan pendinginan pada saluran bahan bakar dapat mengurangi efek *vapor lock*, sehingga laju aliran massa bahan bakar jauh lebih stabil.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari data hasil eksperimen dan simulasi CFD, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada setiap sudut kemiringan tabung, terjadi proses perubahan volume spesifik LPG di sepanjang pipa akibat terjadinya perubahan densitas, sehingga terjadi ekspansi volume LPG di sepanjang pipa. Proses ekspansi volume LPG yang terjadi di sepanjang pipa menyebabkan terjadinya sumbatan uap (*vapor lock*), sehingga menghambat laju aliran LPG di sepanjang pipa.
2. Mengalirnya LPG cair pada saat tabung diposisikan pada sudut kemiringan 90 derajat, menyebabkan terjadinya perubahan densitas dan ekspansi volume yang besar, sehingga sumbatan uap yang terjadi di sepanjang pipa juga besar.
3. Pada saat tabung diposisikan pada sudut kemiringan 90 derajat, fenomena *vapor lock* yang tinggi dapat menyebabkan *regulator lock up*. Hal ini mengakibatkan cairan LPG tidak dapat mengalir dan terperangkap di dalam regulator selama regulator tidak dibuka, sehingga apabila regulator dibuka akan menyembur keluar dan sangat berpotensi terjadi kebakaran jika ada api atau sumber panas di dekatnya.
4. Dari 3 regulator yang digunakan di dalam penelitian, ternyata belum mampu mencegah terjadinya *vapor lock* terutama saat posisi kemiringan tabung 90 derajat (LPG yang keluar dari tabung berfasa cair).

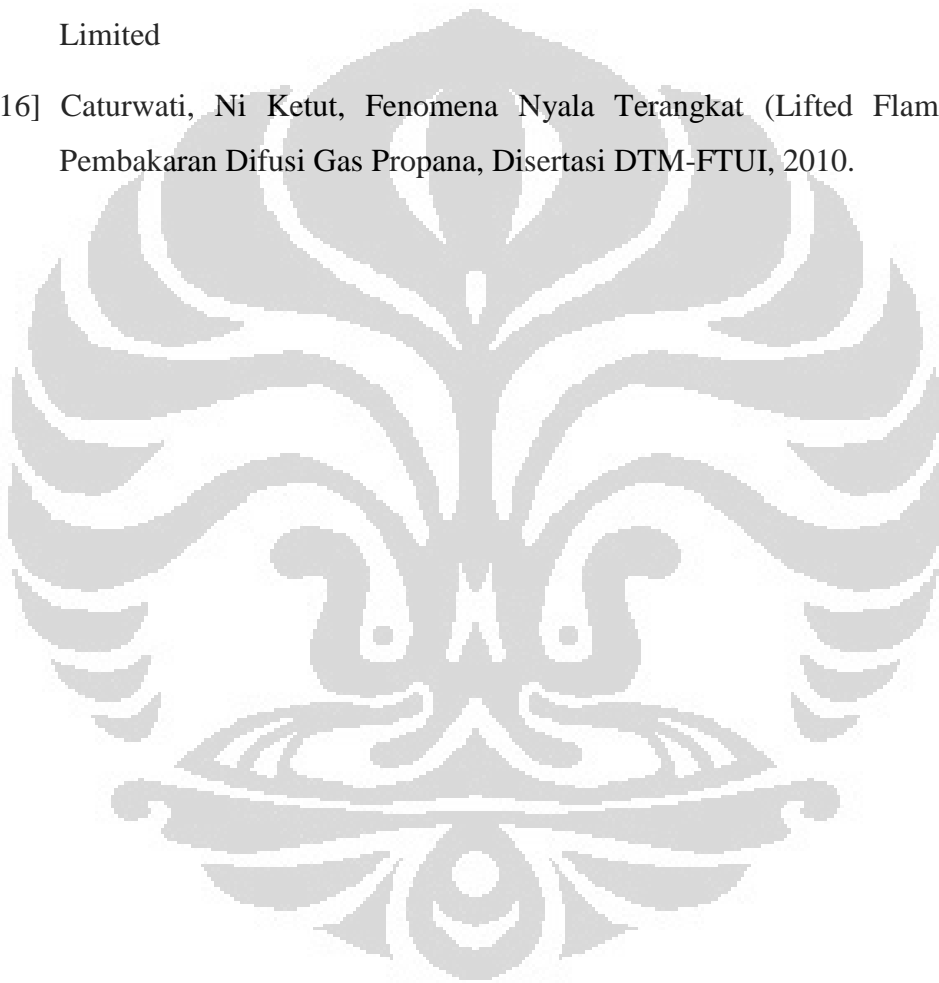
5.2. Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mencegah terjadinya sumbatan uap pada sistem catu bahan bakar kompor gas.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Birk, A.M., The BLEVE: An Update and Reexamination of Response Strategies, www.springerlink.com
- [2] Petunjuk Aman Penggunaan LPG 3 Kg, Pertamina
- [3] Pedoman Teknis Instalasi Pengisian, Transportasi, Penanganan dan Penggunaan serta Pemeriksaan Berkala Tabung LPG. ESDM. 2008
- [4] Product reference manual-section 5- liquefied petroleum gas. www.afrox.com. diakses 2011
- [5] SNG/LPG Systems Overview, A Handbook from the SNG Academy. USA. 2008
- [6] Technical Data for Propane, Butane, and LPG Mixtures. Alternate Energy Systems, Inc.,USA. 2011
- [7] SNI 7369-2008. *Regulator Tekanan Rendah*. Badan Standardisasi Nasional. 2008
- [8] SNI 7213-2006. *Selang Karet Untuk Kompor LPG*. Badan Standardisasi Nasional. 2006
- [9] Munson, Young & Okiishi (2002). *Mekanika Fluida Edisi Keempat*, Jakarta: Erlangga
- [10] Patrick H. Oosthuizen, William E. Carscallen. (1997). *Compressible Fluid Flow*. McGraw-Hill Companies.
- [11] Virgil B. Guthrie, (1960). *Petroleum Product Handbook*. New York, Toronto, London: McGraw-Hill Book Company, Inc
- [12] Augusto Ferrara & Paula Ringenbach, (1994) *Unleaded AVGAS Program Interim Report*, U.S.: Departement of Transportation Federal Aviation Administration

- [13] Andrew Campbell Lee, (2003) *Experimental Investigation of Liquid Fuel Vaporization and Mixing in Steam and Air*. Master of Science in Mechanical Engineering University of Washington
- [14] T.K. Nandi, K. Ramamuthi, A theoretical model for collapse of vapor lock formed during filling of cryogenic systems, Elsevier (1997)
- [15] H. K. Versteeg, W. Malalasekera, (2007) *An Introduction to Computational Fluid Dynamic The Finite Volume Method*. England. Pearson Education Limited
- [16] Caturwati, Ni Ketut, Fenomena Nyala Terangkat (Lifted Flame) Pada Pembakaran Difusi Gas Propana, Disertasi DTM-FTUI, 2010.



LAMPIRAN

1. Data Eksperimen

a. Data Eksperimen Menggunakan Regulator dengan Diameter Outlet 3 mm

- Sudut Kemiringan Tabung 0 Derajat

No	Waktu (detik)	Q (cm)	Q (L/s)	m (gram)	Δm (gram)	\dot{m} (kg/s)	T1(C)	T2 (C)	T3(C)	T4(C)	Pin	Pout
1	0	23	0.0938	12282.0			29.3	29.2	29.1	29.1	0.004	0.002
2	300	22	0.0901	12230.0	52	0.000173	29.1	29.2	29.2	29.4	0.004	0.002
3	600	21	0.0864	12178.5	51.5	0.000172	28.9	29	29.1	29.2	0.004	0
4	900	20.6	0.08492	12128.0	50.5	0.000168	28.6	29	29.1	29.4	0.002	0
5	1200	20.1	0.08307	12078.0	50	0.000167	28.7	29	29.2	29.5	0.004	0
6	1500	19.9	0.08233	12029.0	49	0.000163	28.5	28.9	29.2	29.4	0.002	0
7	1800	19.4	0.08048	11981.5	47.5	0.000158	28.4	28.9	29.1	29.4	0.002	0
8	2100	19.2	0.07974	11935.5	46	0.000153	28.6	29	29.2	29.5	0.002	0
9	2400	19.1	0.07937	11889.5	46	0.000153	28.6	29.1	29.4	29.9	0.002	0
10	2700	18.9	0.07863	11843.5	46	0.000153	28.7	29.2	29.4	29.8	0.004	0.002
11	3000	18.6	0.07752	11798.0	45.5	0.000152	28.7	29.2	29.5	29.9	0.002	0
12	3300	18.5	0.07715	11754.0	44	0.000147	28.8	29.3	29.4	29.9	0.004	0
13	3600	18.2	0.07604	11711.5	42.5	0.000142	28.8	29.3	29.5	29.9	0.002	0
14	3900	18.1	0.07567	11668.5	43	0.000143	28.7	29.2	29.4	29.8	0.002	0
15	4200	17.9	0.07493	11626.0	42.5	0.000142	28.9	29.3	29.5	29.9	0.004	0
16	4500	17.7	0.07419	11583.5	42.5	0.000142	28.9	29.4	29.6	30	0.004	0
17	4800	17.5	0.07345	11541.5	42	0.000140	28.9	29.3	29.5	29.9	0.002	0
18	5100	17.4	0.07308	11500.0	41.5	0.000138	29	29.5	29.7	30.1	0.002	0
19	5400	17.4	0.07308	11458.5	41.5	0.000138	28.9	29.3	29.6	29.9	0.002	0
20	5700	17.3	0.07271	11416.5	42	0.000140	29	29.4	29.7	30.1	0.002	0
21	6000	17.2	0.07234	11376.0	40.5	0.000135	29.1	29.5	29.9	30.2	0.002	0
22	6300	17.2	0.07234	11334.0	42	0.000140	29.1	29.5	29.9	30.3	0.002	0
23	6600	17.1	0.07197	11293.0	41	0.000137	29.2	29.7	30.1	30.4	0.004	0
24	6900	17	0.0716	11250.5	42.5	0.000142	29.3	29.8	30.1	30.6	0.002	0
25	7200	17	0.0716	11209.5	41	0.000137	29.2	29.5	29.9	30.2	0.004	0
26	7500	16.9	0.07123	11167.5	42	0.000140	29.1	29.6	29.8	30.2	0.002	0
27	7800	16.8	0.07086	11126.5	41	0.000137	29.1	29.4	29.8	30.1	0.002	0
28	8100	16.7	0.07049	11085.5	41	0.000137	29.2	29.6	29.9	30.2	0	0
29	8400	16.5	0.06975	11044.0	41.5	0.000138	29.2	29.5	29.7	30	0	0
30	8700	16.5	0.06975	11004.0	40	0.000133	29.3	29.7	29.9	30.2	0.002	0
31	9000	16.5	0.06975	10963.5	40.5	0.000135	29.3	29.8	30	30.4	0.002	0
32	9300	16.4	0.06938	10922.0	41.5	0.000138	29.3	29.7	30	30.4	0.002	0
33	9600	16.4	0.06938	10881.0	41	0.000137	29.3	29.7	30	30.4	0.004	0

34	9900	16.4	0.06938	10840.5	40.5	0.000135	29.2	29.6	29.9	30.2	0.002	0
35	10200	16.3	0.06901	10800.5	40	0.000133	29.2	29.6	29.8	30.1	0.002	0
36	10500	16.2	0.06864	10760.0	40.5	0.000135	29.3	29.6	29.8	30.2	0.002	0
37	10800	16.2	0.06864	10720.0	40	0.000133	29.3	29.6	29.8	30.1	0.002	0
38	11100	16.1	0.06827	10679.5	40.5	0.000135	29.2	29.5	29.8	30.2	0	0
39	11400	16	0.0679	10639.5	40	0.000133	29.3	29.4	29.7	30	0.002	0
40	11700	15.9	0.06753	10599.0	40.5	0.000135	29.3	29.5	29.7	30.1	0.002	0
41	12000	15.9	0.06753	10559.0	40	0.000133	29.2	29.5	29.7	30	0.002	0
42	12300	15.8	0.06716	10518.5	40.5	0.000135	29.3	29.6	29.8	30.1	0.002	0
43	12600	15.7	0.06679	10478.5	40	0.000133	29.3	29.6	29.8	30.1	0.002	0
44	12900	15.6	0.06642	10438.0	40.5	0.000135	29.3	29.6	29.8	30.1	0.002	0
45	13200	15.5	0.06605	10397.0	41	0.000137	29.4	29.6	29.7	30.1	0.002	0
46	13500	15.4	0.06568	10356.0	41	0.000137	29.4	29.7	29.9	30.2	0.002	0
47	13800	15.3	0.06531	10316.0	40	0.000133	29.3	29.6	29.8	30.2	0.002	0
48	14100	15.2	0.06494	10276.0	40	0.000133	29.4	29.7	29.8	30.1	0	0
49	14400	15	0.0642	10236.5	39.5	0.000132	29.4	29.6	29.8	30.2	0.002	0
50	14700	14.9	0.06383	10197.0	39.5	0.000132	29.4	29.7	29.8	30	0.002	0
51	15000	14.8	0.06346	10157.0	40	0.000133	29.4	29.6	29.8	30	0.002	0
52	15300	14.6	0.06272	10118.0	39	0.000130	29.4	29.7	29.9	30.1	0.002	0
53	15600	14.5	0.06235	10079.0	39	0.000130	29.4	29.7	29.9	30.2	0	0
54	15900	14.4	0.06198	10040.0	39	0.000130	29.6	29.7	29.9	30.1	0	0
55	16200	14.2	0.06124	10001.0	39	0.000130	29.6	29.8	30	30.2	0	0
56	16500	14.1	0.06087	9962.0	39	0.000130	29.7	29.9	30.1	30.3	0.002	0
57	16800	13.9	0.06013	9922.5	39.5	0.000132	29.7	29.9	30	30.3	0	0
58	17100	13.7	0.05939	9885.0	37.5	0.000125	29.8	30	30.1	30.3	0.002	0
59	17400	13.5	0.05865	9848.0	37	0.000123	29.8	30.1	30.2	30.5	0	0
60	17700	13.4	0.05828	9810.0	38	0.000127	29.9	30.1	30.1	30.3	0.002	0
61	18000	13.3	0.05791	9772.0	38	0.000127	30	30.1	30.3	30.5	0	0
62	18300	13	0.0568	9734.5	37.5	0.000125	29.9	30.1	30.2	30.3	0.002	0
63	18600	12.7	0.05569	9697.5	37	0.000123	29.9	30.1	30.3	30.5	0	0
64	18900	12.5	0.05495	9661.5	36	0.000120	29.9	30.2	30.3	30.5	0	0
65	19200	12.2	0.05384	9625.5	36	0.000120	30	30.2	30.3	30.6	0	0
66	19500	12	0.0531	9590.5	35	0.000117	30	30.1	30.2	30.5	0.002	0
67	19800	11	0.0494	9556.5	34	0.000113	30	30.2	30.3	30.5	0	0
68	20100	10	0.0457	9524.5	32	0.000107	30	30.2	30.3	30.6	0	0
69	20400	8.5	0.04015	9495.5	29	0.000097	30	30.1	30.3	30.4	0	0
70	20700	7.2	0.03534	9469.5	26	0.000087	30	30.1	30.1	30.3	0	0
71	21000	5.4	0.02868	9447.0	22.5	0.000075	30.2	30.2	30.3	30.5	0	0
72	21300	3	0.0198	9429.0	18	0.000060	30.3	30.4	30.4	30.5	0	0
73	21506	0	0	9420.5	8.5	0.000028	30.4	30.5	30.5	30.6	0	0
	21507	0	0	9420.5	0	0.000000						

• Sudut Kemiringan Tabung 30 Derajat

No	Waktu (detik)	Q (cm)	Q (L/s)	m (gram)	Δm (gram)	\dot{m} (kg/s)	T1(C)	T2 (C)	T3(C)	T4(C)	Pin	Pout
1	0	20	0.0827	12339.5			28.3	28.4	28.2	28.2	0.004	0.002
2	300	19.6	0.08122	12288	51.5	0.000172	28.4	28.4	28.4	28.4	0.004	0.002
3	600	19.4	0.08048	12238.5	49.5	0.000165	28.3	28.4	28.6	28.7	0.002	0.002
4	900	19.3	0.08011	12190	48.5	0.000162	28.2	28.5	28.6	28.9	0.004	0.002
5	1200	19.1	0.07937	12142	48	0.000160	28.2	28.4	28.7	29	0.004	0.002
6	1500	18.9	0.07863	12095	47	0.000157	28	28.5	28.7	29	0.004	0
7	1800	18.7	0.07789	12049	46	0.000153	28	28.5	28.8	29.1	0.004	0
8	2100	18.5	0.07715	12003.5	45.5	0.000152	28	28.5	28.8	29	0.004	0
9	2400	18.3	0.07641	11959	44.5	0.000148	27.9	28.4	28.7	29	0.004	0
10	2700	18.2	0.07604	11916	43	0.000143	28.1	28.5	28.9	29.2	0.004	0.002
11	3000	18	0.0753	11872.5	43.5	0.000145	28.1	28.4	28.8	29.1	0.004	0
12	3300	17.9	0.07493	11829.5	43	0.000143	28.1	28.4	28.8	29	0.002	0
13	3600	17.7	0.07419	11787	42.5	0.000142	28.1	28.6	28.9	29.2	0.002	0
14	3900	17.5	0.07345	11744.5	42.5	0.000142	28.1	28.5	29	29.3	0.004	0
15	4200	17.4	0.07308	11703.5	41	0.000137	28.2	28.6	28.9	29.3	0.004	0
16	4500	17.3	0.07271	11662	41.5	0.000138	28.4	28.8	29	29.4	0.004	0
17	4800	17.2	0.07234	11621	41	0.000137	28.3	28.7	28.9	29.2	0.002	0
18	5100	17.1	0.07197	11580	41	0.000137	28.4	28.9	29.1	29.4	0.004	0
19	5400	17	0.0716	11539.5	40.5	0.000135	28.5	29	29.2	29.6	0.004	0
20	5700	16.9	0.07123	11497	42.5	0.000142	28.6	28.9	29.2	29.5	0.002	0
21	6000	16.8	0.07086	11455	42	0.000140	28.5	28.9	29.2	29.5	0.002	0
22	6300	16.7	0.07049	11413	42	0.000140	28.5	28.9	29.2	29.5	0.004	0
23	6600	16.6	0.07012	11372	41	0.000137	28.6	29	29.1	29.5	0.002	0
24	6900	16.5	0.06975	11331	41	0.000137	28.8	29.2	29.4	29.8	0.002	0.002
25	7200	16.5	0.06975	11289.5	41.5	0.000138	29	29.4	29.7	30.1	0.002	0
26	7500	16.4	0.06938	11247.5	42	0.000140	28.9	29.2	29.4	29.9	0	0
27	7800	16.4	0.06938	11207	40.5	0.000135	29	29.4	29.7	30.1	0.002	0.002
28	8100	16.4	0.06938	11165	42	0.000140	29	29.4	29.6	29.9	0.002	0
29	8400	16.3	0.06901	11125	40	0.000133	29.3	29.6	29.9	30.2	0.002	0
30	8700	16.3	0.06901	11084.5	40.5	0.000135	29.3	29.7	30	30.4	0.002	0
31	9000	16.2	0.06864	11043	41.5	0.000138	29.2	29.6	29.8	30.1	0.002	0
32	9300	16.1	0.06827	11002.5	40.5	0.000135	29.2	29.6	29.9	30.2	0	0
33	9600	16	0.0679	10961.5	41	0.000137	29.3	29.6	29.9	30.2	0	0
34	9900	16	0.0679	10921	40.5	0.000135	29.4	29.8	30	30.4	0	0
35	10200	15.9	0.06753	10880.5	40.5	0.000135	29.3	29.7	30	30.4	0.002	0
36	10500	15.8	0.06716	10840.5	40	0.000133	29.4	29.8	30	30.4	0.002	0
37	10800	15.8	0.06716	10800	40.5	0.000135	29.5	29.8	30	30.4	0.002	0
38	11100	15.7	0.06679	10759.5	40.5	0.000135	29.4	29.7	30	30.3	0	0

39	11400	15.6	0.06642	10719	40.5	0.000135	29.4	29.7	29.9	30.2	0	0
40	11700	15.5	0.06605	10678.5	40.5	0.000135	29.5	29.8	30	30.4	0.002	0
41	12000	15.5	0.06605	10638.5	40	0.000133	29.6	30	30.3	30.6	0	0
42	12300	15.4	0.06568	10598.5	40	0.000133	29.8	30.1	30.3	30.7	0	0
43	12600	15.3	0.06531	10558	40.5	0.000135	29.7	30	30.2	30.6	0	0
44	12900	15.2	0.06494	10520	38	0.000127	29.8	30.1	30.3	30.6	0	0
45	13200	15.2	0.06494	10480	40	0.000133	30	30.3	30.6	30.8	0	0
46	13500	15	0.0642	10440.5	39.5	0.000132	30	30.3	30.5	31	0	0
47	13800	14.9	0.06383	10401	39.5	0.000132	30.1	30.5	30.7	31.1	0	0
48	14100	14.9	0.06383	10361.5	39.5	0.000132	30	30.4	30.6	31	0.002	0
49	14400	14.9	0.06383	10322.5	39	0.000130	30.1	30.4	30.6	31	0	0
50	14700	14.9	0.06383	10283.5	39	0.000130	30.4	30.7	30.8	31.2	0	0
51	15000	14.7	0.06309	10244	39.5	0.000132	30.1	30.5	30.7	31.1	0	0
52	15300	14.5	0.06235	10205	39	0.000130	30.1	30.4	30.6	31	0	0
53	15600	14.4	0.06198	10166	39	0.000130	30	30.2	30.4	30.8	0.002	0
54	15900	14.2	0.06124	10127	39	0.000130	30	30.3	30.5	30.8	0	0
55	16200	14	0.0605	10089	38	0.000127	30.1	30.3	30.6	30.9	0	0
56	16500	13.8	0.05976	10050	39	0.000130	29.9	30.3	30.5	30.8	0.002	0
57	16800	13.6	0.05902	10012.5	37.5	0.000125	30.2	30.5	30.7	31.1	0	0
58	17100	13.4	0.05828	9973.5	39	0.000130	30.1	30.3	30.5	30.9	0	0
59	17400	13	0.0568	9936.5	37	0.000123	30	30.2	30.3	30.5	0	0
60	17700	12.8	0.05606	9899	37.5	0.000125	30	30.2	30.4	30.6	0	0
61	18000	12.5	0.05495	9863.5	35.5	0.000118	30	30.2	30.3	30.5	0	0
62	18300	12.2	0.05384	9828	35.5	0.000118	30	30.2	30.3	30.6	0.002	0
63	18600	11.7	0.05199	9793.5	34.5	0.000115	30.1	30.3	30.5	30.9	0.002	0
64	18900	11.2	0.05014	9760	33.5	0.000112	30.5	30.7	31	31.2	0	0
65	19200	10.5	0.04755	9727.5	32.5	0.000108	30.4	30.7	30.7	31	0	0
66	19500	9.4	0.04348	9696.5	31	0.000103	30.4	30.7	30.8	31	0	0
67	19800	8.5	0.04015	9668.5	28	0.000093	30.7	30.9	30.9	31.2	0	0
68	20100	5.3	0.02831	9643	25.5	0.000085	30.9	31.1	31.1	31.3	0	0
69	20400	5.2	0.02794	9622	21	0.000070	30.7	30.9	30.9	31.1	0	0
70	20700	4.2	0.02424	9603	19	0.000063	30.8	31	31	31.2	0	0
71	21000	2.6	0.01832	9587	16	0.000053	30.6	30.7	30.7	30.9	0	0
72	21300	0	0.0087	9575	12	0.000040	30.5	30.7	30.6	30.7	0	0
73	21357	0	0	9574	1	0.000000	30.5	30.6	30.5	30.7	0	0
		0	0	9574	0	0.000000						

- Sudut Kemiringan Tabung 60 Derajat

No	Waktu (detik)	Q (cm)	Q (L/s)	m (gram)	Δm (gram)	\dot{m} (kg/s)	T1(C)	T2 (C)	T3(C)	T4(C)	Pin	Pout
1	0	19	0.079	12405			27.8	27.8	27.9	27.9	0.004	0.004
2	300	18.7	0.07789	12355	50	0.000167	27.7	27.9	27.9	28	0.002	0.002
3	600	18.6	0.07752	12307	48	0.000160	27.7	28	28.1	28.3	0.004	0.002
4	900	18.5	0.07715	12261	46	0.000153	27.7	28	28.1	28.3	0.004	0.004
5	1200	18.4	0.07678	12216	45	0.000150	27.8	28	28.2	28.4	0.004	0
6	1500	18.3	0.07641	12171	45	0.000150	27.7	28.1	28.4	28.6	0.004	0.002
7	1800	18.2	0.07604	12126.5	44.5	0.000148	27.9	28.2	28.4	28.7	0.004	0
8	2100	18	0.0753	12082.5	44	0.000147	27.8	28.2	28.4	28.6	0.004	0
9	2400	17.9	0.07493	12038.5	44	0.000147	28	28.3	28.5	28.8	0.004	0
10	2700	17.7	0.07419	11995.5	43	0.000143	28	28.3	28.5	28.8	0.002	0
11	3000	17.5	0.07345	11953	42.5	0.000142	28.1	28.4	28.7	29.1	0.004	0
12	3300	17.4	0.07308	11911	42	0.000140	28.1	28.4	28.7	29	0.004	0
13	3600	17.3	0.07271	11870	41	0.000137	28.1	28.5	28.8	29.1	0.002	0
14	3900	17.2	0.07234	11829	41	0.000137	28.4	28.8	29	29.3	0.002	0.002
15	4200	17.1	0.07197	11788	41	0.000137	28.4	28.7	28.9	29.3	0.002	0.002
16	4500	17	0.0716	11747.5	40.5	0.000135	28.2	28.6	28.8	29.1	0.002	0
17	4800	16.9	0.07123	11707	40.5	0.000135	28.3	28.6	28.9	29.2	0.002	0
18	5100	16.8	0.07086	11666.5	40.5	0.000135	29	29.3	29.5	29.9	0.002	0
19	5400	16.8	0.07086	11625.5	41	0.000137	28.7	29	29.2	29.6	0.002	0
20	5700	16.7	0.07049	11583.5	42	0.000140	28.6	29	29.1	29.4	0.002	0
21	6000	16.7	0.07049	11541.5	42	0.000140	28.6	29	29.2	29.5	0	0
22	6300	16.5	0.06975	11500	41.5	0.000138	28.5	28.7	29	29.3	0.002	0.002
23	6600	16.5	0.06975	11459	41	0.000137	28.6	28.9	29.1	29.4	0.002	0
24	6900	16.5	0.06975	11417.5	41.5	0.000138	28.6	28.9	29.1	29.4	0	0
25	7200	16.4	0.06938	11377	40.5	0.000135	28.5	28.9	29.1	29.4	0	0.002
26	7500	16.3	0.06901	11335.5	41.5	0.000138	28.6	29	29.3	29.7	0	0
27	7800	16.2	0.06864	11295	40.5	0.000135	28.7	29	29.2	29.5	0.002	0
28	8100	16.2	0.06864	11253.5	41.5	0.000138	28.5	28.9	29.1	29.4	0	0
29	8400	16.2	0.06864	11213	40.5	0.000135	28.7	28.9	29.1	29.3	0	0.002
30	8700	16.1	0.06827	11172.5	40.5	0.000135	28.7	29	29.1	29.3	0.002	0.002
31	9000	16	0.0679	11131	41.5	0.000138	28.8	29.1	29.2	29.5	0	0
32	9300	16	0.0679	11090	41	0.000137	28.9	29.1	29.3	29.7	0.002	0
33	9600	15.9	0.06753	11051	39	0.000130	28.9	29.3	29.4	29.7	0	0
34	9900	15.9	0.06753	11010.5	40.5	0.000135	28.7	29.1	29.3	29.6	0	0
35	10200	15.8	0.06716	10969	41.5	0.000138	29	29.2	29.4	29.7	0.002	0
36	10500	15.8	0.06716	10930	39	0.000130	28.9	29.3	29.4	29.7	0.002	0
37	10800	15.7	0.06679	10889.5	40.5	0.000135	28.9	29.2	29.3	29.5	0.002	0
38	11100	15.6	0.06642	10848.5	41	0.000137	29.2	29.4	29.7	30	0	0

39	11400	15.5	0.06605	10810	38.5	0.000128	29.1	29.4	29.5	29.8	0	0
40	11700	15.4	0.06568	10770	40	0.000133	29.1	29.4	29.6	29.9	0.002	0
41	12000	15.4	0.06568	10730	40	0.000133	29.4	29.7	30	30.3	0	0
42	12300	15.3	0.06531	10690.5	39.5	0.000132	29.2	29.6	29.8	30.1	0	0
43	12600	15.2	0.06494	10651.5	39	0.000130	29.2	29.4	29.6	29.9	0	0
44	12900	15.1	0.06457	10611	40.5	0.000135	29.2	29.7	29.7	30.1	0.002	0
45	13200	15	0.0642	10571.5	39.5	0.000132	29.4	29.7	30	30.3	0	0
46	13500	15	0.0642	10533.5	38	0.000127	29.7	30	30.3	30.6	0.002	0
47	13800	14.9	0.06383	10494.5	39	0.000130	29.7	30	30.2	30.5	0	0
48	14100	14.8	0.06346	10455	39.5	0.000132	29.5	29.8	30	30.2	0	0
49	14400	14.6	0.06272	10416	39	0.000130	29.4	29.7	29.8	30	0	0
50	14700	14.5	0.06235	10377.5	38.5	0.000128	29.3	29.6	29.7	30	0	0
51	15000	14.4	0.06198	10339.5	38	0.000127	29.4	29.7	29.8	30	0	0
52	15300	14.3	0.06161	10301	38.5	0.000128	29.3	29.6	29.7	30	0.002	0
53	15600	14.2	0.06124	10262.5	38.5	0.000128	29.4	29.6	29.8	30.1	0	0
54	15900	14	0.0605	10225	37.5	0.000125	29.4	29.8	29.9	30.1	0	0
55	16200	13.9	0.06013	10186.5	38.5	0.000128	29.4	29.8	29.9	30.2	0	0
56	16500	13.7	0.05939	10149	37.5	0.000125	29.5	29.8	29.9	30.2	0	0
57	16800	13.6	0.05902	10112	37	0.000123	29.5	29.9	30	30.3	0	0
58	17100	13.4	0.05828	10074.5	37.5	0.000125	29.4	29.7	29.8	30	0	0
59	17400	13.2	0.05754	10036.5	38	0.000127	29.7	30	30	30.3	0	0
60	17700	13	0.0568	10001	35.5	0.000118	29.8	30	30.1	30.3	0	0
61	18000	12.8	0.05606	9964.5	36.5	0.000122	29.8	30	30.1	30.4	0	0
62	18300	12.5	0.05495	9930	34.5	0.000115	29.6	29.9	30	30.2	0	0
63	18600	12.2	0.05384	9894	36	0.000120	29.9	30.1	30.2	30.4	0	0
64	18900	11.6	0.05162	9860	34	0.000113	29.8	30.1	30.1	30.4	0	0
65	19200	11.3	0.05051	9826.5	33.5	0.000112	29.9	30.1	30.2	30.4	0	0
66	19500	10.9	0.04903	9794	32.5	0.000108	29.9	30.1	30.2	30.4	0	0
67	19800	10.3	0.04681	9762.5	31.5	0.000105	29.7	30	30	30.2	0	0
68	20100	9.8	0.04496	9732	30.5	0.000102	29.8	30	30	30.1	0	0
69	20400	9	0.042	9703	29	0.000096	29.9	30	30	30.2	0	0
70	20700	8.5	0.04015	9675	28	0.000093	29.8	30	30.1	30.2	0	0
71	21000	7.9	0.03793	9648.5	26.5	0.000083	29.8	30	30	30.1	0	0
72	21300	7.7	0.03719	9624	24.5	0.000082	29.9	30.2	30.2	30.3	0	0
73	21600	6.3	0.03201	9601	23	0.000076	30	30.2	30.1	30.3	0	0
74	21900	5.3	0.02831	9580	21	0.000070	30	30.2	30.1	30.2	0	0
75	22200	3.8	0.02276	9561.5	18.5	0.000062	30.1	30.3	30.2	30.2	0	0
76	22500	2.3	0.01721	9546.5	15	0.000050	30.3	30.3	30.4	30.6	0	0
77	22797	0	0	9535.5	11	0.000037	30.3	30.4	30.3	30.4	0	0
		0	0	9535.5	0	0.000000						

- Sudut Kemiringan Tabung 90 Derajat

No	Waktu (detik)	Q (cm)	Q (L/s)	m (gram)	Δm (gram)	\dot{m} (kg/s)	T1(C)	T2 (C)	T3(C)	T4(C)	Pin	Pout
1	0	16	0.0679	12248.5			25.7	26.7	27.3	28	0.004	0
2	300	15.8	0.06716	12210.5	38	0.000127	23.5	24.9	26.3	27.3	0.004	0
3	600	14.5	0.06235	12171	39.5	0.000132	22.2	23.9	25.4	26.8	0.006	0.002
4	900	13.5	0.05865	12131.5	39.5	0.000132	22.3	24.2	25.3	26.7	0.004	0
5	1200	13.5	0.05865	12099	32.5	0.000108	22.5	24.4	25.5	26.8	0.004	0
6	1500	13.3	0.05791	12061	38	0.000127	22.7	24.5	25.5	26.9	0.004	0.002
7	1800	13.7	0.05939	12026.5	34.5	0.000115	23.1	24.8	25.8	27.1	0.004	0.002
8	2100	13.4	0.05828	11992.5	34	0.000113	22.8	24.7	25.7	27.1	0.004	0
9	2400	13.5	0.05865	11955.5	37	0.000123	22.9	24.8	25.8	27.2	0.006	0
10	2700	13.5	0.05865	11920.5	35	0.000117	23.3	25	26	27.3	0.006	0
11	3000	13.3	0.05791	11886	34.5	0.000115	23.7	25.3	26.1	27.4	0.004	0
12	3300	13.6	0.05902	11850	36	0.000120	23.8	25.5	26.3	27.6	0.006	0
13	3600	13.4	0.05828	11819	31	0.000103	23.8	25.4	26.4	27.7	0.006	0
14	3900	13.4	0.05828	11782.5	36.5	0.000122	23.7	25.5	26.5	27.8	0.004	0
15	4200	13.4	0.05828	11746	36.5	0.000122	23.7	25.6	26.4	27.7	0.004	0
16	4500	13.2	0.05754	11713	33	0.000110	23.7	25.5	26.5	27.8	0.006	0
17	4800	13	0.0568	11681.5	31.5	0.000105	23.9	25.8	26.8	28	0.004	0
18	5100	13.5	0.05865	11646	35.5	0.000118	24.1	25.9	26.9	28.1	0.006	0
19	5400	13.4	0.05828	11609	37	0.000123	24.1	25.9	27.1	28.3	0.004	0
20	5700	13.2	0.05754	11575.5	33.5	0.000112	24.5	26.3	27.1	28.4	0.004	0
21	6000	13.1	0.05717	11544	31.5	0.000105	24.2	26.1	27.1	28.3	0.006	0
22	6300	12.9	0.05643	11508	36	0.000120	24.3	26.3	27.1	28.4	0.004	0
23	6600	13.3	0.05791	11474	34	0.000113	24	26	26.9	28.2	0.004	0
24	6900	13	0.0568	11438	36	0.000120	24.6	26.3	27.2	28.7	0.004	0
25	7200	13.2	0.05754	11406	32	0.000107	24.6	26.5	27.3	28.5	0.004	0
26	7500	12.8	0.05606	11370	36	0.000120	24.6	26.4	27.3	28.4	0.006	0
27	7800	12.6	0.05532	11339	31	0.000103	24.8	26.7	27.4	28.8	0.006	0
28	8100	13.2	0.05754	11301	38	0.000126	25.3	27	27.8	29.1	0.004	0
29	8400	13	0.0568	11268.5	32.5	0.000108	25.2	26.9	27.6	28.7	0.006	0
30	8628	0	0	11246	22.5	0.000098	25.6	27.3	28	28.9	0	0
		0	0	11246	0	0.000000						

b. Data Eksperimen Menggunakan Regulator dengan Diameter Outlet 3.25 mm

- Sudut Kemiringan Tabung 0 Derajat

No	Waktu (detik)	Q (cm)	Q (L/s)	m (gram)	Δm (gram)	\dot{m} (kg/s)	T1(C)	T2 (C)	T3(C)	T4(C)	Pin	Pout
1	0	23	0.0938	12349			28.6	28.6	28.6	28.6	0.004	0.004
2	300	22.9	0.09343	12284	65	0.000217	28.7	28.8	28.8	28.9	0.004	0.004
3	600	22.8	0.09306	12234	50	0.000167	28.6	28.9	29	29.3	0.004	0.004
4	900	22.7	0.09269	12178.5	55.5	0.000185	28.3	28.7	29	29.2	0.006	0.004
5	1200	22.5	0.09195	12123	55.5	0.000185	28.2	28.6	28.9	29.1	0.006	0.002
6	1500	22.3	0.09121	12068	55	0.000183	28	28.3	28.7	29	0.004	0.004
7	1800	22.2	0.09084	12013	55	0.000183	28	28.4	28.7	29	0.004	0.004
8	2100	21.9	0.08973	11960.5	52.5	0.000175	28.2	28.6	28.9	29.3	0.004	0.002
9	2400	21.5	0.08825	11908	52.5	0.000175	28.2	28.7	29	29.3	0.004	0.002
10	2700	21.4	0.08788	11857	51	0.000170	28.4	28.9	29.3	29.7	0.004	0.002
11	3000	21.3	0.08751	11806	51	0.000170	28.5	29	29.3	29.8	0.004	0
12	3300	21.2	0.08714	11755	51	0.000170	28.4	29	29.2	29.7	0.004	0
13	3600	21	0.0864	11705	50	0.000167	28.4	28.9	29.2	29.6	0.002	0.002
14	3900	20.9	0.08603	11655	50	0.000167	28.4	28.9	29.2	29.6	0.002	0
15	4200	20.8	0.08566	11605.5	49.5	0.000165	28.5	29	29.3	29.7	0.004	0
16	4500	20.5	0.08455	11556.5	49	0.000163	28.6	29.1	29.5	30	0.004	0
17	4800	20.4	0.08418	11507	49.5	0.000165	28.5	28.9	29.3	29.7	0.004	0.002
18	5100	20.3	0.08381	11459	48	0.000160	28.9	29.3	29.7	30.2	0.004	0
19	5400	20.2	0.08344	11411	48	0.000160	28.8	29.4	29.6	30.1	0.002	0
20	5700	20	0.0827	11362	49	0.000163	28.8	29.2	29.7	30	0.004	0
21	6000	19.8	0.08196	11314	48	0.000160	28.6	29.1	29.4	29.8	0.002	0
22	6300	19.7	0.08159	11266	48	0.000160	28.6	29.1	29.3	29.7	0.004	0
23	6600	19.6	0.08122	11217	49	0.000163	28.8	29.3	29.5	30.1	0.004	0
24	6900	19.5	0.08085	11170	47	0.000157	28.9	29.4	29.7	30.1	0.002	0
25	7200	19.4	0.08048	11124	46	0.000153	28.9	29.4	29.7	30.2	0.004	0
26	7500	19.2	0.07974	11078	46	0.000153	28.7	29.1	29.5	30	0.004	0.002
27	7800	19.1	0.07937	11032.5	45.5	0.000152	29.1	29.5	29.9	30.4	0.002	0
28	8100	19	0.079	10987	45.5	0.000152	29.2	29.7	30	30.5	0.002	0
29	8400	18.9	0.07863	10941.5	45.5	0.000152	28.9	29.3	29.7	30	0.004	0
30	8700	18.8	0.07826	10895	46.5	0.000155	28.8	29.2	29.5	29.9	0.002	0
31	9000	18.7	0.07789	10849	46	0.000153	29.1	29.6	30	30.3	0.002	0
32	9300	18.6	0.07752	10803	46	0.000153	29.2	29.6	30	30.3	0.002	0
33	9600	18.6	0.07752	10756	47	0.000157	29.1	29.5	29.9	30.3	0.002	0
34	9900	18.3	0.07641	10710	46	0.000153	29.4	29.8	30.1	30.5	0.002	0
35	10200	18.2	0.07604	10664	46	0.000153	29.2	29.6	29.9	30.3	0.004	0

36	10500	18	0.0753	10618.5	45.5	0.000152	29.1	29.6	29.9	30.2	0.004	0
37	10800	18	0.0753	10573.5	45	0.000150	29.4	29.9	30.3	30.7	0.002	0
38	11100	17.9	0.07493	10528	45.5	0.000152	29.6	30	30.4	30.8	0.002	0
39	11400	17.7	0.07419	10482.5	45.5	0.000152	29.4	29.9	30.2	30.6	0.004	0
40	11700	17.4	0.07308	10438.5	44	0.000147	29.3	29.7	30	30.4	0.002	0
41	12000	17.3	0.07271	10394.5	44	0.000147	29.7	30.2	30.5	31	0.002	0
42	12300	17.1	0.07197	10350	44.5	0.000148	29.7	30.1	30.4	30.7	0.002	0
43	12600	16.8	0.07086	10306.5	43.5	0.000145	30	30.3	30.6	31.1	0.002	0
44	12900	16.7	0.07049	10262.5	44	0.000146	30.1	30.6	31	31.4	0.002	0
45	13200	16.9	0.07123	10219	43.5	0.000145	29.9	30.3	30.5	31	0.002	0
46	13500	16.4	0.06938	10174.5	44.5	0.000148	29.7	30.1	30.3	30.6	0.002	0
47	13800	16	0.0679	10132	42.5	0.000142	30	30.3	30.7	31.1	0.002	0
48	14100	15.5	0.06605	10089.5	42.5	0.000142	29.8	30.1	30.4	30.7	0	0
49	14400	15.1	0.06457	10048	41.5	0.000138	30.1	30.4	30.6	30.8	0.002	0
50	14700	14.5	0.06235	10008	40	0.000133	29.9	30.2	30.3	30.5	0.002	0
51	15000	13.9	0.06013	9969	39	0.000130	30	30.3	30.5	30.9	0	0
52	15300	13.3	0.05791	9931	38	0.000127	30	30.2	30.4	30.6	0	0
53	15600	12.7	0.05569	9894	37	0.000123	29.9	30.1	30.2	30.5	0	0
54	15900	12.1	0.05347	9858.5	35.5	0.000118	30	30.2	30.3	30.6	0	0
55	16200	11.8	0.05236	9824.5	34	0.000113	30.2	30.4	30.6	31	0	0
56	16500	11.2	0.05014	9790	34.5	0.000115	30.1	30.3	30.6	30.9	0	0
57	16800	10.7	0.04829	9757.5	32.5	0.000108	30.2	30.4	30.6	30.9	0	0
58	17100	9.8	0.04496	9727	30.5	0.000102	30.2	30.4	30.5	30.8	0	0
59	17400	8.8	0.04126	9698.5	28.5	0.000095	30.1	30.4	30.3	30.6	0	0
60	17700	7.8	0.03756	9672.5	26	0.000086	30.3	30.3	30.4	30.6	0	0
61	18000	6.2	0.03164	9648.5	24	0.000080	30.4	30.5	30.7	30.9	0	0
62	18300	4.3	0.02461	9628.5	20	0.000067	30.4	30.6	30.5	30.7	0	0
63	18600	1.9	0.01573	9613.5	15	0.000050	30.4	30.5	30.5	30.6	0	0
64	18736	0	0	9609	4.5	0.000033	30.5	30.6	30.5	30.6	0	0
		0	0	9609	0	0.000000						

- Sudut Kemiringan Tabung 30 Derajat

No	Waktu (detik)	Q (cm)	Q (L/s)	m (gram)	Δm (gram)	\dot{m} (kg/s)	T1(C)	T2 (C)	T3(C)	T4(C)	Pin	Pout
1	0	23	0.0938	12505.5			27.8	27.6	27.5	27.5	0.006	0.004
2	300	22.5	0.09195	12444.5	61	0.000203	27.7	27.7	27.8	27.8	0.004	0.004
3	600	22.4	0.09158	12387	57.5	0.000192	27.5	27.7	27.9	28	0.004	0.004
4	900	22.2	0.09084	12331	56	0.000187	27.2	27.6	27.8	28	0.004	0.004
5	1200	21.9	0.08973	12276.5	54.5	0.000182	27.1	27.5	27.7	28	0.004	0.004
6	1500	21.9	0.08973	12223	53.5	0.000178	27.1	27.6	27.8	28.1	0.006	0.004
7	1800	21.8	0.08936	12169.5	53.5	0.000178	27.2	27.6	27.8	28.1	0.006	0.002

8	2100	21.6	0.08862	12117	52.5	0.000175	27.1	27.6	27.9	28.2	0.004	0.004
9	2400	21.4	0.08788	12065.5	51.5	0.000172	27.1	27.7	28	28.4	0.004	0.002
10	2700	21.3	0.08751	12014.5	51	0.000170	27.3	27.9	28.2	28.6	0.004	0.002
11	3000	21.1	0.08677	11963.5	51	0.000170	27.3	28	28.3	28.8	0.004	0.002
12	3300	20.9	0.08603	11913	50.5	0.000168	27.3	27.9	28.3	28.7	0.004	0.002
13	3600	20.7	0.08529	11863.5	49.5	0.000165	27.6	28.2	28.6	29.1	0.004	0.002
14	3900	20.5	0.08455	11815	48.5	0.000162	27.7	28.3	28.7	29.2	0.004	0.004
15	4200	20.3	0.08381	11766	49	0.000163	27.8	28.3	28.6	29.1	0.004	0
16	4500	20.5	0.08455	11718.5	47.5	0.000158	28	28.6	29	29.5	0.004	0.002
17	4800	20.4	0.08418	11669.5	49	0.000163	27.9	28.5	29	29.4	0.004	0.002
18	5100	20.3	0.08381	11621.5	48	0.000160	28.4	29	29.5	30	0.004	0
19	5400	20.2	0.08344	11573.5	48	0.000160	28.7	29.3	29.8	30.2	0.002	0
20	5700	20.1	0.08307	11524.5	49	0.000163	28.8	29.4	29.9	30.3	0.002	0
21	6000	20	0.0827	11475	49.5	0.000165	28.6	29.2	29.6	30.1	0.004	0
22	6300	19.9	0.08233	11426.5	48.5	0.000162	28.5	29.1	29.5	30	0.002	0
23	6600	19.8	0.08196	11378.5	48	0.000160	28.5	29.1	29.5	30	0.002	0
24	6900	19.7	0.08159	11329	49.5	0.000165	28.6	29.2	29.6	30	0.002	0.002
25	7200	19.6	0.08122	11281	48	0.000160	28.7	29.3	29.6	30.2	0.002	0
26	7500	19.4	0.08048	11232	49	0.000163	28.7	29.3	29.7	30.2	0.002	0
27	7800	19.4	0.08048	11185	47	0.000157	29.2	29.8	30.2	30.7	0.004	0
28	8100	19.3	0.08011	11136.5	48.5	0.000162	29.2	29.8	30.3	30.8	0.002	0
29	8400	19.2	0.07974	11089	47.5	0.000158	29.1	29.7	30.1	30.5	0.002	0
30	8700	19.1	0.07937	11041	48	0.000160	29.3	30	30.3	30.9	0.002	0
31	9000	19	0.079	10994	47	0.000157	29.8	30.4	30.8	31.2	0.002	0
32	9300	18.9	0.07863	10946	48	0.000160	30.3	30.8	31.3	31.8	0.002	0
33	9600	18.8	0.07826	10898	48	0.000160	30.1	30.6	31	31.4	0.002	0
34	9900	18.7	0.07789	10851	47	0.000157	30.1	30.6	31	31.5	0	0
35	10200	18.5	0.07715	10803.5	47.5	0.000158	30.1	30.6	31	31.5	0.002	0
36	10500	18.4	0.07678	10757.5	46	0.000153	29.7	30.2	30.4	30.9	0	0
37	10800	18.3	0.07641	10711	46.5	0.000155	29.8	30.3	30.5	31	0.002	0
38	11100	18.2	0.07604	10664	47	0.000157	29.6	30.1	30.3	30.7	0.002	0
39	11400	18	0.0753	10618	46	0.000153	29.7	30.1	30.4	30.8	0	0
40	11700	17.9	0.07493	10572	46	0.000153	29.7	30.1	30.5	31	0	0
41	12000	17.7	0.07419	10526	46	0.000153	29.5	30	30.2	30.5	0	0
42	12300	17.5	0.07345	10480	46	0.000153	29.4	29.8	30.1	30.5	0	0
43	12600	17.2	0.07234	10435	45	0.000150	29.5	29.9	30.1	30.5	0.002	0
44	12900	17	0.0716	10390.5	44.5	0.000148	29.9	30.3	30.6	31	0.002	0
45	13200	16.8	0.07086	10346	44.5	0.000148	30.3	30.6	31	31.4	0	0
46	13500	16.4	0.06938	10302	44	0.000147	29.9	30.3	30.5	30.9	0.002	0
47	13800	16	0.0679	10259	43	0.000143	30.1	30.5	30.8	31.2	0.002	0
48	14100	15.6	0.06642	10216	43	0.000143	30	30.3	30.5	30.8	0.002	0
49	14400	15.2	0.06494	10174.5	41.5	0.000138	30.1	30.5	30.7	31.1	0.002	0

50	14700	14.6	0.06272	10134	40.5	0.000135	30.2	30.6	30.8	31.2	0	0
51	15000	14	0.0605	10094	40	0.000133	30.1	30.4	30.6	30.9	0.002	0
52	15300	13	0.0568	10056	38	0.000127	30.3	30.7	30.9	31.2	0.002	0
53	15600	12.7	0.05569	10020	36	0.000120	30.7	31	31.3	31.6	0	0
54	15900	12.1	0.05347	9983.5	36.5	0.000122	30.2	30.5	30.6	31	0	0
55	16200	11.6	0.05162	9948.5	35	0.000117	30.2	30.4	30.5	30.8	0	0
56	16500	11.1	0.04977	9915.5	33	0.000110	30.5	30.6	30.9	31.2	0	0
57	16800	10.7	0.04829	9883	32.5	0.000108	30.4	30.6	30.6	30.9	0	0
58	17100	10	0.0457	9852	31	0.000103	30.3	30.6	30.7	30.8	0	0
59	17400	9.4	0.04348	9822	30	0.000100	30.5	30.7	30.9	31	0	0
60	17700	8.7	0.04089	9793.5	28.5	0.000095	30.7	30.9	31	31.3	0	0
61	18000	7.9	0.03793	9767	26.5	0.000088	30.5	30.8	30.8	31	0	0
62	18300	7.1	0.03497	9741.5	25.5	0.000085	30.6	30.7	30.7	30.9	0	0
63	18600	6	0.0309	9718.5	23	0.000076	30.4	30.6	30.5	30.7	0	0
64	18900	5.3	0.02831	9697	21.5	0.000072	30.6	30.6	30.7	30.8	0	0
65	19200	3.9	0.02313	9678.5	18.5	0.000062	30.5	30.6	30.6	30.6	0	0
66	19500	2.3	0.01721	9663	15.5	0.000052	30.5	30.7	30.7	30.7	0	0
67	19788	0	0	9652.5	10.5	0.000032	30.6	30.5	30.5	30.7	0	0
		0	0	9652.5	0	0.000000						

- Sudut Kemiringan Tabung 60 Derajat

No	Waktu (detik)	Q (cm)	Q (L/s)	m (gram)	Δm (gram)	m (kg/s)	T1(C)	T2 (C)	T3(C)	T4(C)	Pin	Pout
1	0	23	0.0938	12476			30.4	30.5	30.5	30.6	0.004	0.004
2	300	21.8	0.08936	12415.5	60.5	0.000202	27.7	28.7	29.5	30.2	0.004	0.002
3	600	21.6	0.08862	12365.5	50	0.000167	28	29	29.6	30.4	0.004	0.002
4	900	21.3	0.08751	12311.5	54	0.000180	28.7	29.3	29.9	30.5	0.002	0.004
5	1200	21.1	0.08677	12258	53.5	0.000178	28.9	29.4	30	30.3	0.004	0.004
6	1500	21	0.0864	12205	53	0.000177	29	29.6	30	30.5	0.004	0.004
7	1800	20.7	0.08529	12152	53	0.000177	29	29.5	29.8	30.2	0.004	0.002
8	2100	20.5	0.08455	12102	50	0.000167	29	29.4	29.8	30.2	0.004	0.004
9	2400	20.3	0.08381	12052	50	0.000167	29	29.5	29.9	30.3	0.004	0.004
10	2700	20.1	0.08307	12002.5	49.5	0.000165	28.8	29.3	29.7	30.1	0.002	0.002
11	3000	19.9	0.08233	11954	48.5	0.000162	28.8	29.3	29.6	30	0.002	0.002
12	3300	19.7	0.08159	11906	48	0.000160	28.7	29.3	29.6	30.1	0.004	0.002
13	3600	19.6	0.08122	11858.5	47.5	0.000158	28.8	29.3	29.7	30.1	0.004	0.002
14	3900	19.5	0.08085	11811.5	47	0.000157	28.8	29.3	29.7	30.2	0.004	0.002
15	4200	19.4	0.08048	11764.5	47	0.000157	28.8	29.3	29.8	30.3	0.002	0.002
16	4500	19.1	0.07937	11719	45.5	0.000152	28.8	29.4	29.7	30.2	0.004	0.002
17	4800	18.9	0.07863	11673	46	0.000153	28.9	29.4	29.7	30.1	0.002	0.002
18	5100	18.9	0.07863	11627.5	45.5	0.000152	28.9	29.4	29.7	30.1	0.004	0.002

19	5400	18.8	0.07826	11581	46.5	0.000155	28.9	29.4	29.7	30.1	0.004	0.002
20	5700	18.7	0.07789	11536	45	0.000150	29	29.5	29.7	30.1	0.004	0.004
21	6000	18.6	0.07752	11490	46	0.000153	29	29.4	29.8	30.1	0.002	0.002
22	6300	18.6	0.07752	11443.5	46.5	0.000155	28.9	29.5	29.7	30.1	0.002	0.004
23	6600	18.5	0.07715	11397.5	46	0.000153	29	29.5	29.9	30.3	0.002	0.004
24	6900	18.5	0.07715	11352	45.5	0.000152	29	29.5	29.9	30.3	0.004	0.002
25	7200	18.4	0.07678	11306	46	0.000153	28.9	29.4	29.8	30.2	0.002	0.002
26	7500	18.3	0.07641	11260.5	45.5	0.000152	29	29.6	29.9	30.3	0.004	0.002
27	7800	18.1	0.07567	11214.5	46	0.000153	29	29.5	29.9	30.3	0.002	0.002
28	8100	18	0.0753	11169	45.5	0.000152	29	29.5	30	30.4	0.004	0.002
29	8400	18	0.0753	11123.5	45.5	0.000152	29.1	29.5	29.9	30.3	0.004	0.004
30	8700	17.9	0.07493	11078	45.5	0.000152	29.1	29.7	30	30.4	0.002	0.002
31	9000	17.9	0.07493	11033	45	0.000150	29.1	29.7	30	30.4	0.004	0.002
32	9300	17.8	0.07456	10988	45	0.000150	29.1	29.7	30.2	30.6	0.002	0.002
33	9600	17.7	0.07419	10943	45	0.000150	29.2	29.9	30.3	30.7	0.004	0
34	9900	17.5	0.07345	10898	45	0.000150	29.3	29.9	30.3	30.8	0.002	0
35	10200	17.4	0.07308	10853.5	44.5	0.000148	29.3	29.9	30.3	30.8	0.002	0.004
36	10500	17.3	0.07271	10809	44.5	0.000148	29.3	29.8	30.2	30.6	0.004	0.002
37	10800	17.3	0.07271	10764.5	44.5	0.000148	29.3	29.9	30.3	30.7	0.004	0
38	11100	17.2	0.07234	10720	44.5	0.000148	29.3	29.8	30.2	30.8	0.002	0.002
39	11400	17	0.0716	10675.5	44.5	0.000148	29.3	29.9	30.2	30.7	0.002	0.002
40	11700	17	0.0716	10631.5	44	0.000147	29.5	30.1	30.4	30.9	0.004	0.002
41	12000	16.9	0.07123	10587.5	44	0.000147	29.5	30	30.4	30.9	0.002	0
42	12300	16.8	0.07086	10543	44.5	0.000148	29.3	29.9	30.2	30.7	0.002	0.002
43	12600	16.7	0.07049	10499.5	43.5	0.000145	29.5	30	30.4	30.8	0.002	0.002
44	12900	16.5	0.06975	10455.5	44	0.000147	29.4	30	30.3	30.7	0.002	0
45	13200	16.4	0.06938	10412.5	43	0.000143	29.5	30	30.3	30.7	0.002	0
46	13500	16.3	0.06901	10369.5	43	0.000143	29.6	30.1	30.3	30.8	0.002	0
47	13800	16.2	0.06864	10325.5	44	0.000147	29.5	30	30.3	30.7	0.004	0
48	14100	16	0.0679	10282.5	43	0.000143	29.4	29.9	30.1	30.5	0.002	0.002
49	14400	15.9	0.06753	10240	42.5	0.000142	29.4	30	30.2	30.6	0.002	0.002
50	14700	15.7	0.06679	10200	40	0.000133	29.5	30	30.3	30.7	0.002	0.002
51	15000	15.6	0.06642	10154	46	0.000153	29.5	30	30.4	30.8	0.002	0.002
52	15300	15.3	0.06531	10113	41	0.000137	29.7	30.2	30.4	30.8	0.004	0.002
53	15600	15.1	0.06457	10070.5	42.5	0.000142	29.7	30.1	30.5	30.9	0.002	0
54	15900	14.8	0.06346	10029.5	41	0.000137	29.6	30	30.2	30.6	0.002	0.002
55	16200	14.4	0.06198	9988.5	41	0.000137	29.6	30	30.2	30.6	0.002	0.002
56	16500	13.9	0.06013	9949	39.5	0.000132	29.7	30	30.3	30.6	0.002	0
57	16800	13.4	0.05828	9910	39	0.000130	29.7	30	30.2	30.6	0	0
58	17100	12.8	0.05606	9872.5	37.5	0.000125	29.7	29.9	30.2	30.5	0.002	0.002
59	17400	12.2	0.05384	9836	36.5	0.000122	29.8	30	30.2	30.5	0	0
60	17700	11.8	0.05236	9801	35	0.000117	29.7	29.9	30	30.3	0	0

61	18000	11.1	0.04977	9766.5	34.5	0.000115	29.8	30.1	30.2	30.5	0	0
62	18300	10.5	0.04755	9734.5	32	0.000107	29.8	30	30.2	30.5	0	0.002
63	18600	9.8	0.04496	9703.5	31	0.000103	29.9	30.2	30.3	30.6	0.002	0
64	18900	9.2	0.04274	9674.5	29	0.000097	29.9	30.2	30.2	30.5	0	0
65	19200	8.7	0.04089	9645	29.5	0.000098	30	30.3	30.3	30.6	0	0
66	19500	7.7	0.03719	9619	26	0.000086	30	30.3	30.4	30.6	0	0
67	19800	5.4	0.02868	9596.5	22.5	0.000075	30	30.3	30.3	30.6	0	0
68	20100	4.9	0.02683	9576.5	20	0.000067	30.2	30.3	30.2	30.4	0	0
69	20400	3.5	0.02165	9558.5	18	0.000060	30.2	30.5	30.4	30.6	0	0
70	20700	0.9	0.01203	9546	12.5	0.000042	30.2	30.2	30.3	30.4	0	0
71	20854	0	0	9540	6	0.000038	30.2	30.2	30.1	30.3	0	0
		0	0	9540	0	0.000000						

• Sudut Kemiringan Tabung 90 Derajat

No	Waktu (detik)	Q (cm)	Q (L/s)	m (gram)	Δm (gram)	\dot{m} (kg/s)	T1(C)	T2 (C)	T3(C)	T4(C)	Pin	Pout
1	0	23	0.0938	12296			15.4	18	21	23.7	0.008	0.004
2	300	24	0.0975	12230	66	0.000220	13.7	16.1	19	21.7	0.01	0.004
3	600	24	0.0975	12173	57	0.000190	14	16.1	19	21.7	0.012	0.006
4	900	24	0.0975	12112	61	0.000203	13.6	16	19	21.6	0.014	0.006
5	1200	24	0.0975	12051	61	0.000203	13.8	15.7	18.5	21.3	0.014	0.006
6	1500	23	0.0938	11994	57	0.000190	13.9	16	18.9	21.5	0.012	0.006
7	1800	23.5	0.09565	11939	55	0.000183	13.6	16	19.1	21.8	0.014	0.006
8	2100	23.5	0.09565	11880.5	58.5	0.000195	13.8	16.1	19.2	21.9	0.012	0.006
9	2400	24	0.0975	11820	60.5	0.000202	14.6	16.6	19.3	22	0.012	0.004
10	2700	23.5	0.09565	11765	55	0.000183	15	16.9	19.8	22.3	0.014	0.006
11	3000	23.5	0.09565	11708.5	56.5	0.000188	14.8	17.1	19.8	22.3	0.012	0.004
12	3300	23.5	0.09565	11651	57.5	0.000192	14.8	17	19.8	22.4	0.014	0.006
13	3600	23	0.0938	11595.5	55.5	0.000185	14.7	16.9	19.7	22.4	0.012	0.004
14	3900	23	0.0938	11534	61.5	0.000205	14.5	16.8	19.7	22.2	0.014	0.006
15	4200	23	0.0938	11477	57	0.000190	14.4	16.7	19.5	22.3	0.014	0.004
16	4500	23.5	0.09565	11418.5	58.5	0.000195	15	16.9	19.9	22.4	0.012	0.004
17	4800	23	0.0938	11364.5	54	0.000180	14.9	17	19.9	22.4	0.012	0.004
18	5100	23	0.0938	11307	57.5	0.000192	14.8	17	19.9	22.5	0.012	0.004
19	5400	22.5	0.09195	11252	55	0.000183	15.2	16.9	20	22.7	0.014	0.004
20	5700	11	0.0494	11184	68	0.000227	19.9	21.5	22.6	24.4	0.01	0
21	5751	0	0	11180	4	0.000078	21.3	22.8	23.6	25.2	0.006	0
		0	0	11180	0	0.000000						

c. Data Eksperimen Menggunakan Regulator dengan Diameter Outlet 3.5 mm

- Sudut Kemiringan Tabung 0 Derajat

No	Waktu (detik)	Q (cm)	Q (L/s)	m (gram)	Δm (gram)	\dot{m} (kg/s)	T1(C)	T2 (C)	T3(C)	T4(C)	Pin	Pout
1	0	23	0.0938	12235			30.4	30.4	30.4	30.4	0.006	0.004
2	300	22.9	0.09343	12179.5	55.5	0.000185	30.2	30.4	30.5	30.9	0.006	0.004
3	600	22.7	0.09269	12124	55.5	0.000185	29.8	30.2	30.4	30.6	0.004	0.004
4	900	22.6	0.09232	12069.5	54.5	0.000182	29.5	29.9	30.1	30.5	0.004	0.004
5	1200	22.5	0.09195	12015	54.5	0.000182	29.3	29.8	30.1	30.5	0.006	0.004
6	1500	22.4	0.09158	11960.5	54.5	0.000182	29.4	29.9	30.3	30.7	0.006	0.004
7	1800	22.3	0.09121	11906.5	54	0.000180	29.5	30	30.4	30.8	0.004	0.004
8	2100	22.3	0.09121	11853	53.5	0.000178	29.4	30	30.4	30.9	0.006	0.004
9	2400	22.3	0.09121	11800	53	0.000177	29.3	29.9	30.3	30.9	0.004	0.004
10	2700	22.2	0.09084	11747	53	0.000177	29.3	29.9	30.4	30.8	0.004	0.004
11	3000	22	0.0901	11694	53	0.000177	29.2	29.8	30.2	30.6	0.004	0.004
12	3300	22	0.0901	11641.5	52.5	0.000175	29.3	30	30.3	30.9	0.006	0.004
13	3600	22	0.0901	11589.5	52	0.000173	29.4	30.1	30.5	31.1	0.006	0.004
14	3900	21.9	0.08973	11537.5	52	0.000173	29.3	29.9	30.4	30.9	0.004	0.004
15	4200	21.9	0.08973	11485.5	52	0.000173	29.3	30	30.4	31	0.004	0.004
16	4500	21.9	0.08973	11434.5	51	0.000170	29.3	30	30.4	30.9	0.004	0.004
17	4800	21.9	0.08973	11382.5	52	0.000173	29.4	30.1	30.5	31.1	0.006	0.004
18	5100	21.9	0.08973	11331.5	51	0.000170	29.3	30	30.5	30.9	0.004	0.004
19	5400	21.8	0.08936	11279	52.5	0.000175	29.4	30	30.4	31	0.004	0.004
20	5700	21.8	0.08936	11228.5	50.5	0.000168	29.5	30.1	30.5	30.9	0.004	0.004
21	6000	21.6	0.08862	11178.5	50	0.000167	29.7	30.1	30.5	31	0.004	0.002
22	6300	21.6	0.08862	11128.5	50	0.000167	29.8	30.4	30.7	31.2	0.004	0.004
23	6600	21.6	0.08862	11077.5	51	0.000170	29.9	30.4	30.7	31.2	0.006	0.004
24	6900	21.6	0.08862	11027.5	50	0.000167	29.7	30.3	30.6	31.1	0.004	0.002
25	7200	21.6	0.08862	10976	51.5	0.000172	29.8	30.3	30.7	31.2	0.004	0.004
26	7500	21.6	0.08862	10924.5	51.5	0.000172	29.7	30.2	30.6	31.2	0.004	0.004
27	7800	21.6	0.08862	10871	53.5	0.000178	29.8	30.3	30.8	31.4	0.006	0.004
28	8100	21.5	0.08825	10818.5	52.5	0.000175	29.7	30.3	30.6	31	0.004	0.004
29	8400	21.5	0.08825	10766.5	52	0.000173	29.7	30.3	30.5	31	0.004	0.002
30	8700	21.4	0.08788	10713.5	53	0.000177	29.8	30.2	30.6	31	0.004	0.002
31	9000	21.4	0.08788	10661.5	52	0.000173	29.9	30.4	30.6	31.2	0.004	0.004
32	9300	21.4	0.08788	10609.5	52	0.000173	30.1	30.7	31.2	31.7	0.006	0.004
33	9600	21.3	0.08751	10556.5	53	0.000177	29.9	30.5	30.9	31.5	0.004	0.004
34	9900	21.2	0.08714	10503	53.5	0.000178	29.8	30.3	30.7	31.2	0.004	0.004

35	10200	21.1	0.08677	10449.5	53.5	0.000178	30	30.4	30.7	31.3	0.006	0.004
36	10500	21.1	0.08677	10396.5	53	0.000177	29.9	30.4	30.7	31.3	0.004	0.004
37	10800	20.9	0.08603	10344	52.5	0.000175	29.9	30.4	30.7	31.2	0.002	0.002
38	11100	20.9	0.08603	10291	53	0.000177	29.9	30.3	30.7	31.2	0.004	0.004
39	11400	20.9	0.08603	10237.5	53.5	0.000178	29.8	30.4	30.8	31.3	0.004	0.002
40	11700	20.8	0.08566	10185.5	52	0.000173	29.9	30.4	30.8	31.3	0.004	0.002
41	12000	20.6	0.08492	10133	52.5	0.000175	29.9	30.5	30.8	31.3	0.004	0.004
42	12300	20.5	0.08455	10079.5	53.5	0.000178	29.9	30.5	30.9	31.3	0.004	0.002
43	12600	20.3	0.08381	10026	53.5	0.000178	30.1	30.6	31	31.4	0.004	0.002
44	12900	19.6	0.08122	9974	52	0.000173	30	30.5	30.9	31.4	0.004	0.004
45	13200	18.2	0.07604	9925	49	0.000163	30	30.4	30.7	31.2	0.004	0.002
46	13500	16.8	0.07086	9878.5	46.5	0.000155	30.1	30.4	30.7	31.2	0.002	0.002
47	13800	16.2	0.06864	9835.5	43	0.000143	30.3	30.7	31.1	31.5	0.004	0.002
48	14100	15.8	0.06716	9791.5	44	0.000147	30.5	30.9	31.1	31.5	0.002	0.002
49	14400	15.2	0.06494	9749	42.5	0.000142	30.7	31	31.2	31.5	0.004	0
50	14700	14.2	0.06124	9707.5	41.5	0.000138	30.3	30.6	30.8	31.2	0.002	0
51	15000	13.8	0.05976	9667	40.5	0.000135	30.6	30.8	31	31.2	0.002	0
52	15300	12.6	0.05532	9629	38	0.000127	30.4	30.5	30.6	30.9	0.002	0
53	15600	10.8	0.04866	9596	33	0.000110	30.2	30.3	30.3	30.6	0	0
54	15900	9.5	0.04385	9566	30	0.000100	30	30.1	30.3	30.4	0	0
55	16200	8.3	0.03941	9537.5	28.5	0.000095	29.8	29.9	30.1	30.3	0	0
56	16500	6.7	0.03349	9513	24.5	0.000082	29.9	30.1	30.1	30.2	0.002	0
57	16800	4.7	0.02609	9492	21	0.000070	29.7	29.9	29.9	30.1	0.002	0
58	17100	1.5	0.01425	9476.5	15.5	0.000052	30.1	30.1	30.1	30.2	0	0
59	17178	0	0	9474	2.5	0.000032	30	30	29.9	30.2	0	0
		0	0	9474	0	0.000000						

- Sudut Kemiringan Tabung 30 Derajat

No	Waktu (detik)	Q (cm)	Q (L/s)	m (gram)	Δm (gram)	\dot{m} (kg/s)	T1(C)	T2 (C)	T3(C)	T4(C)	Pin	Pout
1	0	23	0.0938	12439.5			28.8	28.7	28.6	28.5	0.004	0.004
2	300	22.8	0.09306	12381.5	58	0.000193	28.6	28.6	28.5	28.6	0.004	0.004
3	600	22.6	0.09232	12325.5	56	0.000187	28.2	28.4	28.6	28.7	0.006	0.004
4	900	22.5	0.09195	12270	55.5	0.000185	27.9	28.3	28.5	28.8	0.004	0.004
5	1200	22.5	0.09195	12214.5	55.5	0.000185	27.8	28.2	28.4	28.8	0.006	0.004
6	1500	22.4	0.09158	12159.5	55	0.000183	27.7	28.1	28.5	28.7	0.004	0.004
7	1800	22.3	0.09121	12105	54.5	0.000182	27.5	28.2	28.4	28.8	0.006	0.004
8	2100	22.3	0.09121	12050.5	54.5	0.000182	27.7	28.2	28.5	29	0.004	0.002
9	2400	22.3	0.09121	11997	53.5	0.000178	27.6	28.2	28.5	28.9	0.006	0.002
10	2700	22.2	0.09084	11943.5	53.5	0.000178	27.6	28.2	28.7	29.1	0.004	0.002
11	3000	22.1	0.09047	11890.5	53	0.000177	27.9	28.5	29	29.4	0.004	0.004

12	3300	22.1	0.09047	11837	53.5	0.000178	27.7	28.4	28.8	29.3	0.004	0.002
13	3600	22	0.0901	11784.5	52.5	0.000175	27.6	28.3	28.7	29.2	0.004	0.002
14	3900	22	0.0901	11731	53.5	0.000178	27.6	28.2	28.7	29.2	0.004	0.002
15	4200	21.9	0.08973	11679	52	0.000173	27.7	28.4	28.9	29.3	0.006	0.002
16	4500	21.9	0.08973	11626.5	52.5	0.000175	27.8	28.4	29	29.5	0.004	0
17	4800	21.8	0.08936	11574	52.5	0.000175	27.6	28.3	28.8	29.3	0.004	0
18	5100	21.8	0.08936	11522	52	0.000173	27.6	28.4	28.9	29.4	0.004	0.002
19	5400	21.8	0.08936	11470	52	0.000173	27.7	28.3	28.9	29.4	0.004	0.002
20	5700	21.8	0.08936	11418	52	0.000173	27.9	28.6	29.1	29.7	0.004	0
21	6000	21.8	0.08936	11366	52	0.000173	27.8	28.6	29	29.6	0.004	0
22	6300	21.8	0.08936	11313.5	52.5	0.000175	27.9	28.6	29.1	29.5	0.004	0.002
23	6600	21.8	0.08936	11260.5	53	0.000177	27.9	28.5	29	29.5	0.004	0.002
24	6900	21.8	0.08936	11207.5	53	0.000177	27.8	28.5	29	29.4	0.004	0.002
25	7200	21.8	0.08936	11154.5	53	0.000177	28.1	28.9	29.3	29.8	0.004	0
26	7500	21.7	0.08899	11101	53.5	0.000178	28.2	28.9	29.4	30	0.004	0.002
27	7800	21.7	0.08899	11046	55	0.000183	28	28.7	29.3	29.9	0.004	0.002
28	8100	21.6	0.08862	10993.5	52.5	0.000175	28.1	28.9	29.3	30	0.004	0
29	8400	21.6	0.08862	10940	53.5	0.000178	28.2	28.9	29.5	30.1	0.004	0
30	8700	21.6	0.08862	10886.5	53.5	0.000178	28.2	29	29.5	30	0.006	0
31	9000	21.6	0.08862	10833.5	53	0.000177	28.5	29.3	29.8	30.4	0.004	0
32	9300	21.5	0.08825	10780	53.5	0.000178	28.5	29.2	29.7	30.3	0.004	0
33	9600	21.5	0.08825	10726.5	53.5	0.000178	28.5	29.2	29.9	30.4	0.004	0
34	9900	21.5	0.08825	10673	53.5	0.000178	28.7	29.4	30	30.5	0.004	0.002
35	10200	21.5	0.08825	10619.5	53.5	0.000178	29.1	29.8	30.4	31	0.004	0.002
36	10500	21.4	0.08788	10566.5	53	0.000177	29.1	29.8	30.3	31	0.004	0
37	10800	21.4	0.08788	10513	53.5	0.000178	28.8	29.6	30.1	30.6	0.004	0
38	11100	21.3	0.08751	10459.5	53.5	0.000178	28.9	29.5	30.1	30.6	0.004	0
39	11400	21.3	0.08751	10406	53.5	0.000178	29	29.6	30	30.4	0.004	0
40	11700	21.1	0.08677	10352	54	0.000180	28.8	29.5	30	30.5	0.004	0
41	12000	21.1	0.08677	10299	53	0.000177	29.2	29.8	30.4	31	0.004	0
42	12300	21	0.0864	10245	54	0.000180	29.9	30.6	31.1	31.7	0.002	0
43	12600	21	0.0864	10191	54	0.000180	29.5	30.2	30.8	31.4	0.004	0
44	12900	20.9	0.08603	10137.5	53.5	0.000178	29.5	30.2	30.6	31.3	0.002	0
45	13200	20.6	0.08492	10083.5	54	0.000180	29.4	30.2	30.6	31.2	0.002	0.002
46	13500	20.5	0.08455	10031.5	52	0.000173	29.7	30.3	30.8	31.4	0.002	0
47	13800	20.1	0.08307	9979	52.5	0.000175	30.1	30.7	31.1	31.8	0.004	0
48	14100	18.5	0.07715	9929.5	49.5	0.000165	29.9	30.5	30.9	31.5	0.002	0
49	14400	15.9	0.06753	9886	43.5	0.000145	30.6	31.3	31.7	32.2	0	0
50	14700	15.6	0.06642	9845	41	0.000137	30.9	31.5	32	32.5	0	0
51	15000	14.9	0.06383	9805.5	39.5	0.000132	31.2	31.7	32.2	32.6	0.002	0
52	15300	12.7	0.05569	9767	38.5	0.000128	31.4	31.8	32.2	32.7	0	0
53	15600	13.2	0.05754	9731.5	35.5	0.000118	31.7	32.1	32.4	32.9	0	0

54	15900	12.8	0.05606	9696	35.5	0.000118	32	32.4	32.7	33.1	0	0
55	16200	11.5	0.05125	9662	34	0.000113	31.4	31.7	32	32.4	0	0
56	16500	10.3	0.04681	9630.5	31.5	0.000105	31.2	31.3	31.4	31.8	0	0
57	16800	9.6	0.04422	9600	30.5	0.000102	31.1	31.2	31.3	31.6	0	0
58	17100	8.7	0.04089	9570.5	29.5	0.000098	31.1	31.3	31.4	31.7	0	0
59	17400	8.2	0.03904	9542	28.5	0.000095	31.3	31.5	31.6	31.9	0	0
60	17700	8	0.0383	9515	27	0.000090	31.3	31.4	31.5	31.8	0	0
61	18000	7.2	0.03534	9488.5	26.5	0.000088	31.3	31.6	31.7	32	0	0
62	18300	6.7	0.03349	9462.5	26	0.000087	31.1	31.2	31.2	31.4	0	0
63	18600	6.2	0.03164	9438.5	24	0.000080	31.3	31.4	31.5	31.7	0	0
64	18900	5.4	0.02868	9416	22.5	0.000075	31.3	31.4	31.5	31.8	0	0
65	19200	4.4	0.02498	9396.5	19.5	0.000065	31.3	31.4	31.4	31.7	0	0
66	19500	3.3	0.02091	9379.5	17	0.000057	31.4	31.5	31.6	31.8	0	0
67	19755	0	0	9367.5	12	0.000047	31.6	31.7	31.7	31.8	0	0
		0	0	9367.5	0	0.000000						

• Sudut Kemiringan Tabung 60 Derajat

No	Waktu (detik)	Q (cm)	Q (L/s)	m (gram)	Δm (gram)	m (kg/s)	T1(C)	T2 (C)	T3(C)	T4(C)	Pin	Pout
1	0	23	0.0938	12316.5			23.7	25.3	26.4	27.3	0.006	0.006
2	300	21.9	0.08973	12270	46.5	0.000155	21.7	23.5	24.9	26.2	0.006	0.004
3	600	21.4	0.08788	12221	49	0.000163	24.4	25.4	26.2	27	0.006	0.004
4	900	20.9	0.08603	12171.5	49.5	0.000165	25.8	26.5	27.1	27.7	0.004	0.002
5	1200	20.8	0.08566	12121.5	50	0.000167	26.4	27.1	27.5	28.1	0.004	0.002
6	1500	20.7	0.08529	12071	50.5	0.000168	26.8	27.6	28.1	28.6	0.004	0.002
7	1800	20.7	0.08529	12020.5	50.5	0.000168	26.9	27.7	28.2	28.7	0.004	0.004
8	2100	20.7	0.08529	11970.5	50	0.000167	27.1	27.8	28.3	28.8	0.006	0.002
9	2400	20.6	0.08492	11921	49.5	0.000165	27.1	27.7	28.2	28.7	0.004	0.002
10	2700	20.5	0.08455	11871.5	49.5	0.000165	27.1	27.8	28.2	28.8	0.004	0.002
11	3000	20.5	0.08455	11822	49.5	0.000165	27.2	27.9	28.4	29	0.004	0.002
12	3300	20.4	0.08418	11773	49	0.000163	27.2	27.9	28.4	28.9	0.004	0.002
13	3600	20.4	0.08418	11724.5	48.5	0.000162	27.4	28	28.7	29.2	0.004	0.002
14	3900	20.4	0.08418	11676.5	48	0.000160	27.6	28.4	29	29.7	0.004	0.002
15	4200	20.3	0.08381	11628.5	48	0.000160	27.6	28.3	29	29.5	0.004	0
16	4500	20.3	0.08381	11579	49.5	0.000165	27.9	28.7	29.3	29.9	0.004	0
17	4800	20.3	0.08381	11531	48	0.000160	27.9	28.6	29.1	29.7	0.004	0
18	5100	20.2	0.08344	11483	48	0.000160	27.9	28.7	29.3	29.9	0.004	0.002
19	5400	20.2	0.08344	11434.5	48.5	0.000162	28.2	28.9	29.5	30.1	0.004	0.002
20	5700	20.2	0.08344	11387	47.5	0.000158	28.3	29.1	29.6	30.2	0.002	0
21	6000	20.1	0.08307	11339	48	0.000160	28.4	29.1	29.7	30.3	0.004	0
22	6300	20.1	0.08307	11288.5	50.5	0.000168	28.7	29.2	29.9	30.5	0.004	0

23	6600	20.1	0.08307	11239	49.5	0.000165	28.7	29.3	29.9	30.4	0.004	0
24	6900	20.1	0.08307	11188.5	50.5	0.000168	28.4	29	29.5	30	0.004	0
25	7200	20.1	0.08307	11138.5	50	0.000167	28.5	29.2	29.7	30.3	0.004	0
26	7500	20.1	0.08307	11089.5	49	0.000163	28.9	29.4	30.1	30.6	0.002	0
27	7800	20	0.0827	11039.5	50	0.000167	28.7	29.4	30	30.5	0.004	0
28	8100	20	0.0827	10989.5	50	0.000167	28.5	29.2	29.8	30.3	0.004	0
29	8400	20	0.0827	10938.5	51	0.000170	28.7	29.3	29.9	30.5	0.002	0
30	8700	20	0.0827	10890	48.5	0.000162	29.1	29.8	30.3	31	0.004	0
31	9000	19.9	0.08233	10840	50	0.000167	29.2	29.8	30.4	30.9	0.004	0
32	9300	19.9	0.08233	10790.5	49.5	0.000165	29.2	29.8	30.4	31.1	0.004	0
33	9600	19.9	0.08233	10741	49.5	0.000165	29.5	30.1	30.6	31.1	0.004	0
34	9900	19.8	0.08196	10691	50	0.000167	29	29.5	30.1	30.6	0.004	0
35	10200	19.8	0.08196	10640	51	0.000170	29	29.7	30.2	30.7	0.002	0
36	10500	19.8	0.08196	10590	50	0.000167	28.9	29.5	29.9	30.5	0.002	0
37	10800	19.7	0.08159	10540	50	0.000167	28.8	29.5	29.9	30.4	0.004	0
38	11100	19.7	0.08159	10491	49	0.000163	29.1	29.8	30.3	30.9	0.002	0
39	11400	19.6	0.08122	10441	50	0.000167	29	29.6	30	30.5	0.002	0
40	11700	19.5	0.08085	10391	50	0.000167	29	29.7	30.2	30.8	0.002	0
41	12000	19.5	0.08085	10341	50	0.000167	28.9	29.5	30	30.6	0.002	0
42	12300	19.4	0.08048	10291	50	0.000167	28.9	29.6	30	30.6	0.004	0
43	12600	19.4	0.08048	10239.5	51.5	0.000172	29.1	29.8	30.3	30.9	0.002	0
44	12900	19.3	0.08011	10190.5	49	0.000163	29	29.5	30.1	30.5	0.002	0
45	13200	19.1	0.07937	10140	50.5	0.000168	29.1	29.8	30.2	30.7	0.002	0
46	13500	18.8	0.07826	10090	50	0.000167	29.2	29.9	30.3	30.8	0.002	0
47	13800	18.3	0.07641	10042	48	0.000160	29.3	29.9	30.3	30.8	0.002	0
48	14100	16.1	0.06827	9996.5	45.5	0.000152	29.9	30.5	31.1	31.6	0	0
49	14400	15	0.0642	9958.5	38	0.000127	30.2	30.8	31.2	31.7	0	0
50	14700	13.8	0.05976	9919	39.5	0.000132	30.1	30.5	31	31.4	0	0
51	15000	13	0.0568	9882	37	0.000123	30.1	30.5	30.9	31.3	0	0
52	15300	12.3	0.05421	9847	35	0.000117	30.3	30.7	31	31.4	0	0
53	15600	11.6	0.05162	9813	34	0.000113	30.5	30.8	31.2	31.6	0	0
54	15900	10.8	0.04866	9779.5	33.5	0.000112	30.4	30.8	31	31.4	0	0
55	16200	10.2	0.04644	9749	30.5	0.000102	30.3	30.7	30.9	31.1	0	0
56	16500	9.4	0.04348	9719	30	0.000100	30.4	30.7	30.9	31.2	0	0
57	16800	8.5	0.04015	9692	27	0.000090	30.7	31.1	31.2	31.6	0.002	0
58	17100	7.5	0.03645	9664.5	27.5	0.000092	30.7	31	31.2	31.4	0	0
59	17400	6.6	0.03312	9640	24.5	0.000082	30.7	31	31.1	31.5	0	0
60	17700	4.3	0.02461	9618	22	0.000073	30.9	31.1	31.3	31.5	0	0
61	18000	4	0.0235	9598.5	19.5	0.000065	31.3	31.5	31.6	32	0	0
62	18300	3.4	0.02128	9578.5	20	0.000067	31.1	31.3	31.4	31.6	0	0
63	18600	2.7	0.01869	9562.5	16	0.000053	31	31.2	31.2	31.4	0	0
64	18900	2.1	0.01647	9549	13.5	0.000045	31.3	31.5	31.4	31.7	0	0

65	18938	0	0	9548	1	0.000026	31.3	31.4	31.4	31.6	0	0
		0	0	9548	0	0.000000						

• Sudut Kemiringan Tabung 90 Derajat

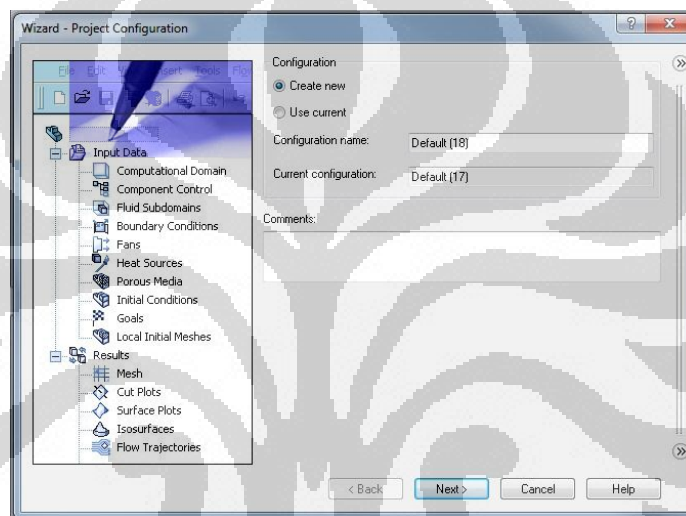
No	Waktu (detik)	Q (cm)	Q (L/s)	m (gram)	Δm (gram)	\dot{m} (kg/s)	T1(C)	T2 (C)	T3(C)	T4(C)	Pin	Pout
1	0	23	0.0938	12355			12.6	14.8	17.4	20.2	0.008	0.004
2	300	23.5	0.09565	12294.5	60.5	0.000202	12.4	14.3	17.2	20.3	0.01	0.004
3	600	23.2	0.09454	12240	54.5	0.000182	13.1	14.5	17.3	20.6	0.012	0.004
4	900	23.2	0.09454	12183.5	56.5	0.000188	13.1	15.1	17.8	21.1	0.01	0.004
5	1200	23.5	0.09565	12122.5	61	0.000203	12.8	14.7	17.6	20.9	0.012	0.002
6	1500	22.8	0.09306	12070.5	52	0.000173	13.3	14.9	18.2	21.4	0.01	0.004
7	1800	22.5	0.09195	12013	57.5	0.000192	12.9	15.1	18.1	21.7	0.01	0.004
8	2100	22.5	0.09195	11953	60	0.000200	13.1	15	17.7	21.2	0.01	0.004
9	2400	23	0.0938	11897	56	0.000187	12.8	14.7	17.6	21	0.012	0.004
10	2700	23	0.0938	11845	52	0.000173	12.8	14.8	17.8	21.3	0.012	0.004
11	3000	22.8	0.09306	11791	54	0.000180	13.3	15.2	18	21.7	0.01	0.004
12	3300	22	0.0901	11742.5	48.5	0.000162	14.5	16.2	19.3	22.9	0.008	0.004
13	3600	22.5	0.09195	11685	57.5	0.000192	14.1	15.7	18.8	22.5	0.008	0.002
14	3900	22	0.0901	11634	51	0.000170	14.3	15.9	18.8	22.6	0.012	0.002
15	4200	21.5	0.08825	11582.5	51.5	0.000172	14.2	15.8	19.2	22.9	0.01	0.002
16	4500	21.5	0.08825	11528.5	54	0.000180	14.7	16.2	19.5	23.1	0.012	0.002
17	4800	21.7	0.08899	11470	58.5	0.000195	14.3	16	19.1	22.6	0.008	0.002
18	5100	21.3	0.08751	11417	53	0.000177	14.1	15.9	19.2	22.5	0.01	0.002
19	5400	21	0.0864	11372.5	44.5	0.000148	15.2	16.8	20	23.3	0.008	0.002
20	5700	20.8	0.08566	11321	51.5	0.000172	16.3	17.8	20.8	24.1	0.008	0
21	6000	15.4	0.06568	11257.5	63.5	0.000212	18.8	20.5	22.2	25.3	0.006	0
22	6300	14.8	0.06346	11228	29.5	0.000098	20.6	21.9	24.2	26.8	0.006	0
23	6600	13.5	0.05865	11195.5	32.5	0.000108	22.2	23	25.5	27.3	0.006	0
24	6900	12.9	0.05643	11160.5	35	0.000117	23.4	23.8	26.7	27.9	0.004	0
25	7200	12.7	0.05569	11135.5	25	0.000083	24.3	24.3	27.4	28.5	0.002	0
26	7500	12.5	0.05495	11101	34.5	0.000115	24.4	24.6	27.4	28.3	0.002	0
27	7800	12.4	0.05458	11066.5	34.5	0.000115	24.7	24.6	27.6	28.6	0.004	0
28	8100	12.4	0.05458	11035	31.5	0.000105	25.1	25	27.9	28.9	0.002	0
29	8400	12.3	0.05421	11003	32	0.000107	25.3	25.6	28.3	29.2	0.004	0
30	8700	12.2	0.05384	10969.5	33.5	0.000112	25.2	25.5	28	28.8	0.002	0
31	9000	12.2	0.05384	10938	31.5	0.000105	25.5	26.1	28.2	29	0.002	0
32	9300	12.1	0.05347	10906.5	31.5	0.000105	25.6	26.5	28.1	28.8	0.004	0
33	9600	12.5	0.05495	10875.5	31	0.000103	26.2	27	28.3	29.1	0.002	0
34	9900	12	0.0531	10843	32.5	0.000108	26.4	27.4	28.2	28.9	0.002	0

35	10200	11.9	0.05273	10812	31	0.000103	26.9	27.8	28.5	29.1	0	0
36	10500	11.9	0.05273	10780.5	31.5	0.000105	27.4	27.9	28.4	29.1	0.002	0
37	10800	11.9	0.05273	10749	31.5	0.000105	27.4	27.9	28.4	28.9	0	0
38	11100	11.9	0.05273	10717.5	31.5	0.000105	27.6	28	28.4	29	0	0
39	11400	11.9	0.05273	10686	31.5	0.000105	27.6	28.1	28.5	29	0.002	0
40	11700	11.9	0.05273	10655	31	0.000103	27.9	28.3	28.7	29.3	0	0
41	12000	11.8	0.05236	10624.5	30.5	0.000102	27.9	28.4	28.8	29.2	0.002	0
42	12300	11.8	0.05236	10592.5	32	0.000107	28	28.5	28.9	29.5	0	0
43	12600	11.8	0.05236	10560.5	32	0.000107	28.4	28.9	29.4	30	0	0
44	12900	11.7	0.05199	10532	28.5	0.000095	28.6	29.1	29.5	30.2	0.002	0
45	13200	11.7	0.05199	10501.5	30.5	0.000102	28.7	29.2	29.6	30.2	0	0
46	13500	11.7	0.05199	10471	30.5	0.000102	29	29.5	30	30.6	0.002	0
47	13800	11.7	0.05199	10440	31	0.000103	29.3	29.7	30.2	30.7	0	0
48	14100	11.7	0.05199	10409.5	30.5	0.000102	29.1	29.5	29.9	30.4	0	0
49	14400	11.6	0.05162	10379.5	30	0.000100	29	29.6	29.9	30.5	0	0
50	14700	11.6	0.05162	10348.5	31	0.000103	29.2	29.6	30.1	30.6	0.002	0
51	15000	11.5	0.05125	10317	31.5	0.000105	28.9	29.4	29.7	30.2	0.002	-0.002
52	15300	11.5	0.05125	10285	32	0.000107	28.9	29.4	29.7	30.1	0	0
53	15600	11.5	0.05125	10255	30	0.000100	28.9	29.5	29.8	30.2	0	0
54	15900	11.5	0.05125	10224	31	0.000103	29	29.5	29.8	30.2	0.002	0
55	16200	11.5	0.05125	10194	30	0.000100	29.1	29.5	29.9	30.3	0.002	0
56	16500	11.5	0.05125	10162	32	0.000107	29.1	29.6	29.9	30.3	0.002	0
57	16800	11.5	0.05125	10131.5	30.5	0.000102	29.3	29.8	30.1	30.6	0	0
58	17100	11.5	0.05125	10100.5	31	0.000103	29.3	29.8	30.1	30.6	0.002	0
59	17400	11.4	0.05088	10069	31.5	0.000105	29.5	30.1	30.4	30.8	0	0
60	17700	11.3	0.05051	10037.5	31.5	0.000105	29.5	30	30.2	30.7	0	0
61	18000	11.3	0.05051	10007.5	30	0.000100	29.5	30	30.3	30.7	0	0
62	18300	11.2	0.05014	9976.5	31	0.000103	29.6	30	30.2	30.7	0	0
63	18600	11	0.0494	9946	30.5	0.000102	29.6	30	30.2	30.5	0	0
64	18900	11	0.0494	9915	31	0.000103	29.6	30	30.2	30.4	0	0
65	19200	11	0.0494	9884.5	30.5	0.000102	29.5	30	30.1	30.5	0	0
66	19500	10.9	0.04903	9854	30.5	0.000102	29.8	30.1	30.4	30.7	0	0
67	19800	10.9	0.04903	9822.5	31.5	0.000105	29.8	30.2	30.4	30.7	0	0
68	20100	10.8	0.04866	9792.5	30	0.000100	29.7	30	30.2	30.7	0	0
69	20400	10.8	0.04866	9761.5	31	0.000103	29.7	30	30.2	30.5	0.002	0
70	20700	10.7	0.04829	9731	30.5	0.000102	29.8	30.2	30.4	30.7	0	0
71	21000	10.7	0.04829	9700	31	0.000103	29.8	30.1	30.3	30.6	0	0
72	21300	10.6	0.04792	9669	31	0.000103	29.9	30.1	30.4	30.7	0	0
73	21600	10.5	0.04755	9634.5	34.5	0.000115	30.1	30.4	30.7	31	0	0
74	21900	10.5	0.04755	9600.5	34	0.000113	30	30.4	30.6	31	0	0
75	22200	10.4	0.04718	9570	30.5	0.000102	29.9	30.2	30.5	30.7	0	0
76	22500	10.2	0.04644	9541	29	0.000097	30	30.2	30.3	30.7	0	0

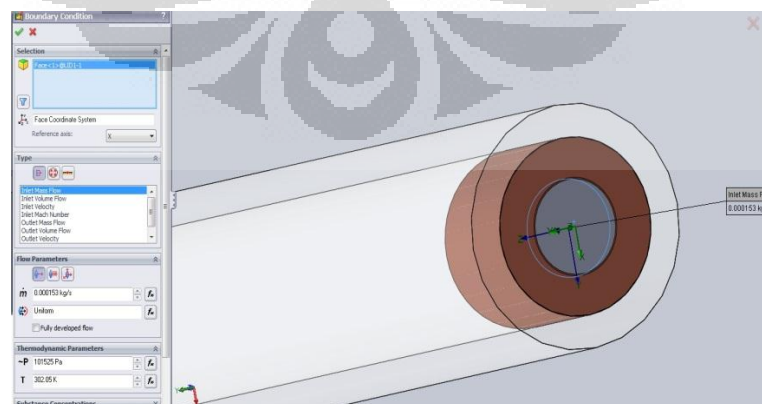
77	22800	8.2	0.03904	9511	30	0.000100	30.1	30.2	30.4	30.7	0	0
78	23100	6.5	0.03275	9487	24	0.000080	30.3	30.6	30.8	31.1	0	0
79	23400	4.2	0.02424	9466	21	0.000070	30.2	30.5	30.4	30.7	0	0
80	23566	0	0	9458	8	0.000027	30.5	30.7	30.7	30.9	0	0
		0	0	9458	0	0.000000						

2. Langkah-Langkah Simulasi

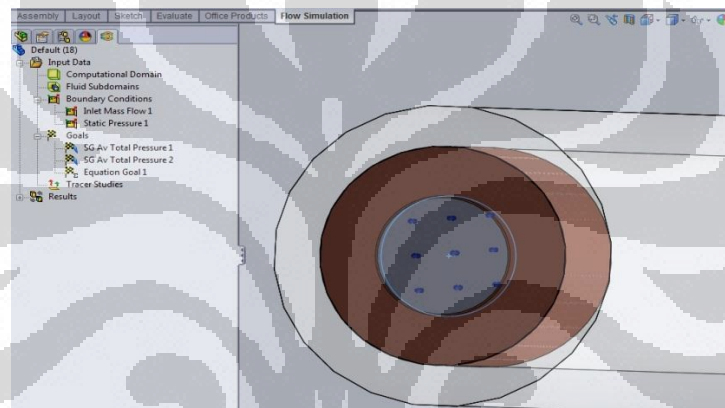
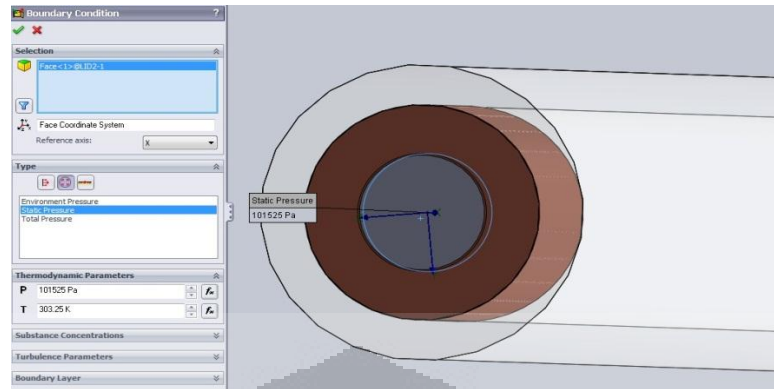
- a. Menggambar pipa acrylic yang akan disimulasikan menggunakan *solid work 2012*
- b. Memulai simulasi baru *create new*



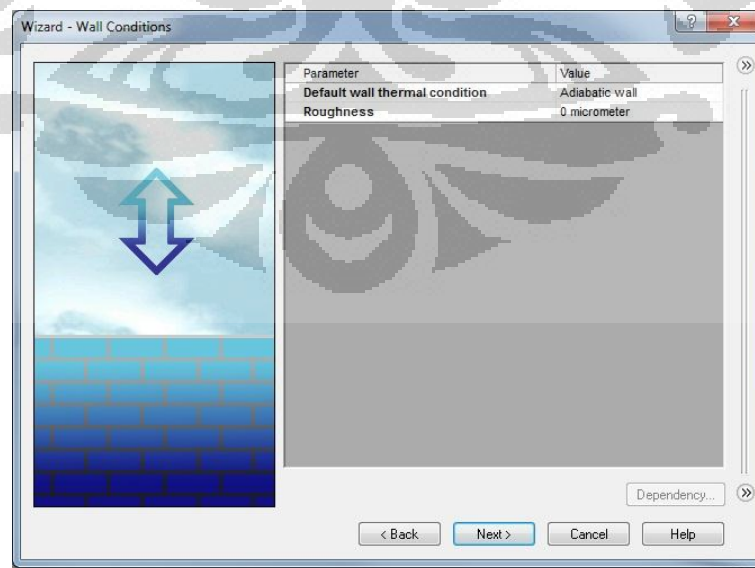
- c. Menentukan *boundary condition* (bagian inlet, outlet dan wall) dan mengatur nilai parameter yang dimasukkan
 - Bagian inlet (mass flow rate, pressure dan temperature)



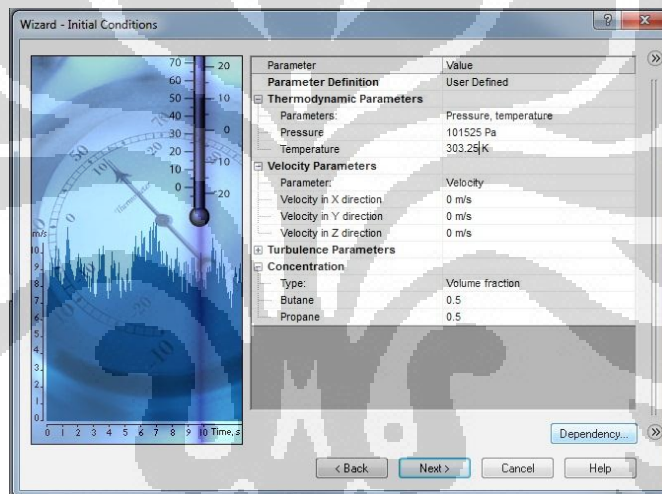
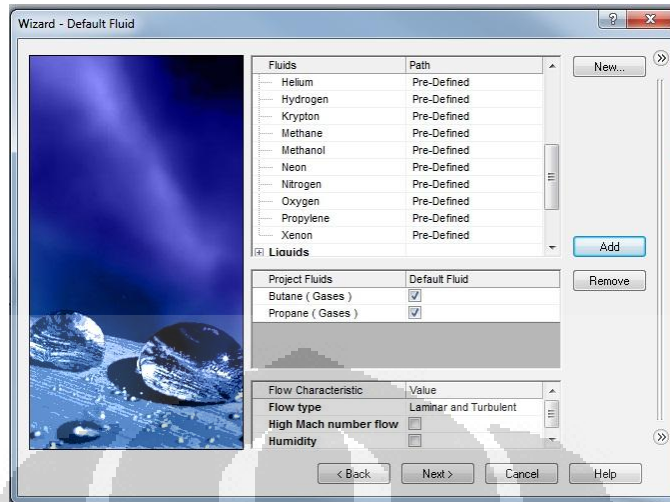
- Bagian Outlet (pressure dan temperature)



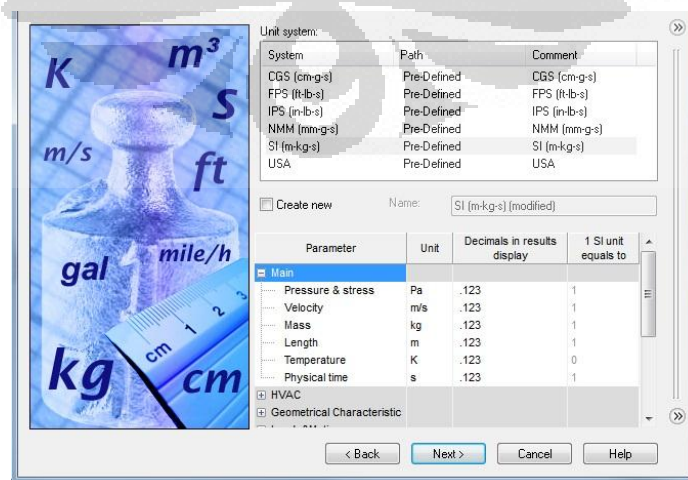
- Bagian Wall



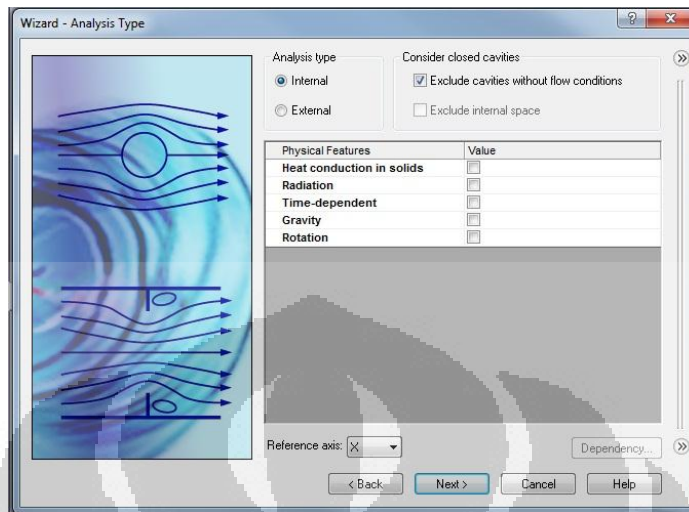
d. Menetapkan fluida yang disimulasikan



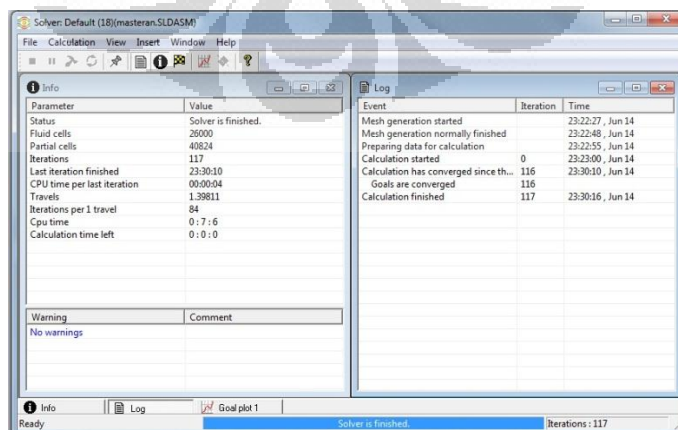
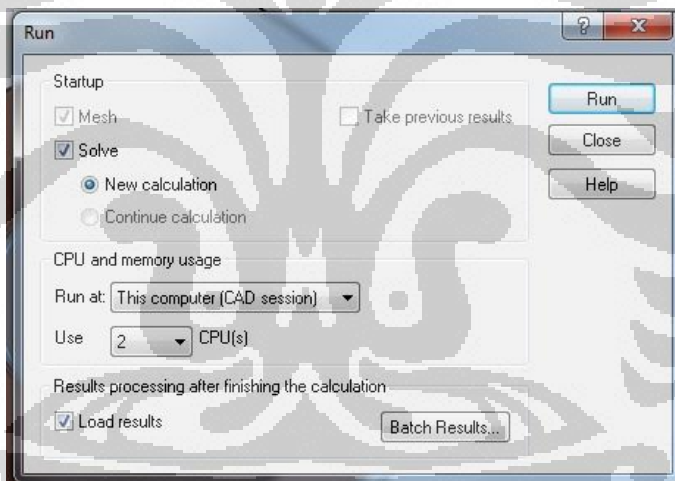
e. Menentukan sistem satuan yang digunakan



f. Menentukan tipe analisis aliran



g. Melakukan Iterasi



h. Memplot hasil Simulasi

3. Foto Pengambilan Data



Foto Pengambilan Data Pada Sudut Kemiringan Tabung 0 Derajat



Foto Pengambilan Data Pada Sudut Kemiringan Tabung 90 Derajat