



UNIVERSITAS INDONESIA

**Kajian Eksperimental *Safety Ball* (Bola Gotri) Dalam Regulator  
Gas Tekanan Rendah Pada Sistem Catu Bahan Bakar Kompor  
Gas LPG**

SKRIPSI

Dea Adreanni

0806329956

FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JULI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**Kajian Eksperimental *Safety Ball* (Bola Gotri) Dalam Regulator  
Gas Tekanan Rendah Pada Sistem Catu Bahan Bakar Kompor  
Gas LPG**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Dea Adreanni

0806329956

FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JULI 2012

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,

Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk

telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Dea Adreanni

NPM : 0806329956

Tanda Tangan :



Tanggal : 06 Juli 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Dea Adreanni  
NPM : 0806329956  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Kajian Eksperimental *Safety Ball* (Bola Gotri)  
Dalam Regulator Gas Tekanan Rendah Pada  
Sistem Catu Bahan Bakar Kompor Gas LPG

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1: Prof. Dr. Ir. I Made Kartika Dhiputra, Dipl.-Ing.

Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng

Penguji 2 : Prof. Ir. Yulianto Sulistyono Nugroho M.Sc., Ph.D

Penguji 3 : Dr. Ir. Adi Surjasatyo M.Eng

Ditetapkan di : Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 06 Juli 2012

## KATA PENGANTAR

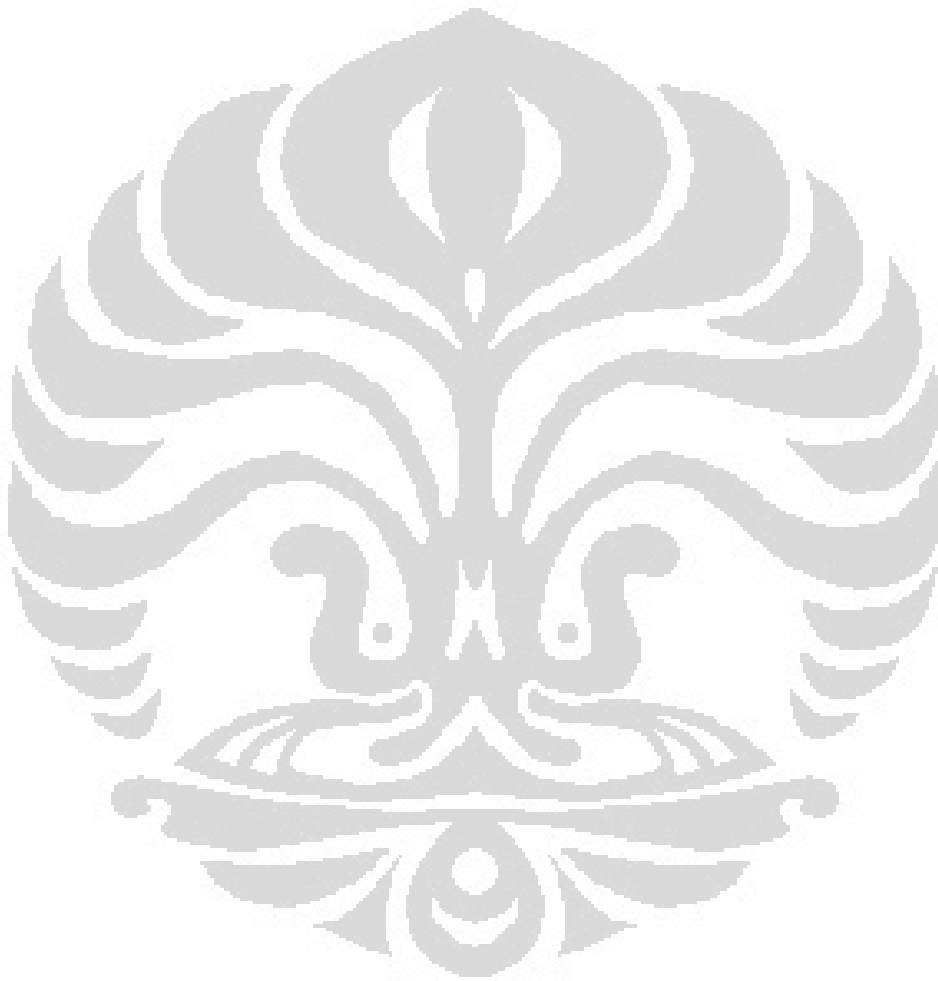
Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah serta inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Ir. I Made Kartika Dhiputra, Dipl.-Ing. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto M. Eng, Prof. Ir. Yulianto Sulisty Nugroho M. Sc., Ph.D, Dr. Ir. Adi Surjasatyo M.Eng selaku dosen penguji atas kebaikan dan ilmunya.
3. Dr. Ir. Gandjar Kiswanto M.Eng selaku pembimbing akademis dan seluruh dosen serta staf karyawan Departemen Teknik Mesin FTUI yang telah memberikan ilmu dan pengalamannya.
4. Mama, almarhum papa dan adik-adikku tercinta, atas dukungan spiritual, moral dan materil yang diberikan tanpa hentinya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Adnan Afif Alaudin sebagai sahabat terbaik yang sabar menemani dan membantu, serta senantiasa memberikan semangatnya.
6. Setya Wijayanta, S.T. dan Irvan R. Rondonuwu S.T., Imanuel dan Gunawan selaku partner di Laboratorium Termodinamika *Flame and Combustion Research*, Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia.
7. Para teman wanita terbaik "Cemes 08", I Nyoman Guni R., Raka Cahya P, teman-teman lab. Manufaktur dan teman-teman lainnya di jurusan Teknik Mesin dan Teknik Perkapalan, khususnya angkatan 2008 yang telah memberi warna selama perjalanan hidup di FT UI.
8. Para rekan dan semua pihak yang telah membantu dalam bentuk doa dan semangat yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah disebutkan di atas. Semoga skripsi ini membawa manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juli 2012

Dea Adreanni



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

---

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

Nama : Dea Adreanni  
NPM : 0806329956  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

**“Kajian Eksperimental *Safety Ball* (Bola Gotri) Dalam Regulator Gas Tekanan Rendah Pada Sistem Catu Bahan Bakar Kompor Gas LPG”**

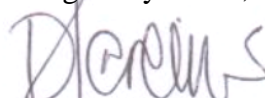
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 06 Juli 2012

Yang menyatakan,

  
Dea Adreanni

## ABSTRAK

Nama : Dea Adreanni  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : Kajian Eksperimental *Safety Ball* (Bola Gotri) Dalam Regulator Gas Tekanan Rendah Pada Sistem Catu Bahan Bakar Kompor Gas LPG

*Berdasarkan kebijakan pemerintah Indonesia tentang konversi penggunaan minyak tanah menjadi gas LPG untuk kebutuhan rumah tangga, pemerintah telah membagikan kompor dan asesorisnya kepada masyarakat. Pemerintah juga mendukung industri dalam negeri untuk penyediaan bahan baku dan menjual komponen tersebut, sebagai contoh regulator tekanan rendah LPG berdasarkan spesifikasi mutu SNI 7369:2008. Salah satu jenis regulator gas tekanan rendah LPG yang dipakai masyarakat luas memiliki safety ball atau bola gotri pada bagian saluran keluarnya. Meskipun begitu, tidak ada standar regulator yang menyatakan fungsi bola gotri tersebut.*

*Tugas akhir ini membahas safety ball pada regulator. Penelitian dilakukan terhadap 3 jenis regulator dengan perbedaan tertentu, yaitu diameter lubang keluar regulator 3, 3.25, dan 3.5 mm dengan diameter bola gotri 6.3, 6, dan 5 mm secara berturut-turut. Hasil yang didapat ialah bola gotri pada regulator dengan diameter lubang keluar 3 mm akan menutup aliran dengan laju 7.3 l/s dan menutup lebih cepat pada pengujian aliran balik atau pengujian ball check valve. Pengujian pada kemiringan tabung 90<sup>0</sup> menunjukkan bahwa regulator dengan diameter lubang masuk 4.6 mm dapat menimbulkan lock up pada regulator. Secara umum, fungsi bola gotri berkaitan dengan diameter bola gotri, geometri dan performansi regulator, tekanan, dan laju aliran.*

Kata kunci :

*Safety ball, bola gotri, regulator tekanan rendah, LPG, ball check valve*



## ABSTRACT

Name : Dea Adreanni  
Study Program : Mechanical Engineering  
Title : Experimental Study of Ball Check Valve (*Gotri Ball*) of Low Pressure Gas Regulator On LPG Stoves Fuel Supply System

*Based on the Indonesian government policy on land use conversion of oil into gas LPG for household needs, the government has distributed the stove and its accessories to the community. The Government also supports the domestic industry for the supply of raw materials and sells components, for example, low pressure LPG regulator is based on ISO 7369:2008 quality specification. One type of low pressure gas regulator LPG used by the general public has a safety ball or the ball shot at the exit channel. Even so, there are no regulatory standards that states the function of the gotri ball.*

*This final report concerned the safety ball on the regulator. Research conducted on three types of regulators with certain differences, the diameter of the outlet regulator 3, 3.25, and 3.5 mm in diameter spherical pellet 6.3, 6, and 5 mm respectively. The results obtained on the regulator is shot the ball with 3 mm diameter hole will close out with a flow rate of 7.3 l / s and close more quickly on testing or testing of backflow check valve ball. Tests on the slope of the storage 90<sup>0</sup>, showed that the regulator with inlet diameter of 4.6 mm caused lock up in the regulator. In general, the function of gotri ball related to the diameter of the ball, geometry and performance of the regulator, pressure, and flow rate.*

Keywords :

Safety ball, *gotri ball*, low pressure regulator, LPG, ball check valve

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
DAFTAR SIMBOL .....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Metode Penelitian .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 Liquefied Petroleum Gas .....	6
2.2 Regulator Tekanan Rendah LPG .....	7
2.2.1 Konstruksi .....	8
2.2.2 Uji Syarat Mutu .....	9
2.2.3 <i>Safety ball</i> (Bola Gotri) .....	10
2.2.4 Cara Kerja .....	12
2.2.5 Performansi Regulator .....	14
2.3 Aliran Fluida Melewati Bola .....	16
2.3.1 Bilangan Reynold .....	17

2.3.2	Persamaan <i>Navier-Stokes</i> .....	17
2.3.3	Komponen Gaya <i>Drag</i> .....	18
2.4	<i>Ball Check Valve</i> .....	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....		22
3.1	Rancangan Alat Uji.....	22
3.2	Peralatan.....	23
3.2.1	Regulator.....	23
3.2.2	<i>Pressure transducer</i> dan <i>pressure meter</i> .....	24
3.2.3	Termokopel dan termometer digital .....	25
3.2.4	Data Akuisisi RS-232 Converter .....	25
3.2.5	Rotameter .....	26
3.2.6	Selang dan Klem.....	28
3.2.7	<i>Bunsen Burner</i> dan pemantik api .....	28
3.2.8	<i>Needle Valve</i> .....	29
3.2.9	<i>Wetgas</i> .....	29
3.2.10	Timbangan Digital.....	30
3.2.11	Perangkat komputer.....	30
3.4	Prosedur Pengambilan Data .....	30
3.4.1	Pengujian tekanan keluar pada regulator dengan laju aliran gas LPG .....	31
3.4.2	Pengujian aliran balik pada saluran keluar regulator.....	32
BAB 4 PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA .....		35
4.1	Hasil dan Analisa Eksperimen .....	35
4.1.1	Pengujian Laju Aliran dengan Tekanan Keluar Regulator.....	35
4.1.2	Pengujian hubungan antara waktu, laju aliran dan tekanan regulator pada kemiringan tabung $90^0$ .....	42
4.1.3	Pengujian Hubungan Waktu dengan Laju Aliran Balik .....	47
4.2	Hasil dan Analisa Perhitungan .....	51
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....		57
5.1	Kesimpulan.....	57
5.2	Saran .....	57
DAFTAR PUSTAKA .....		59

## DAFTAR GAMBAR

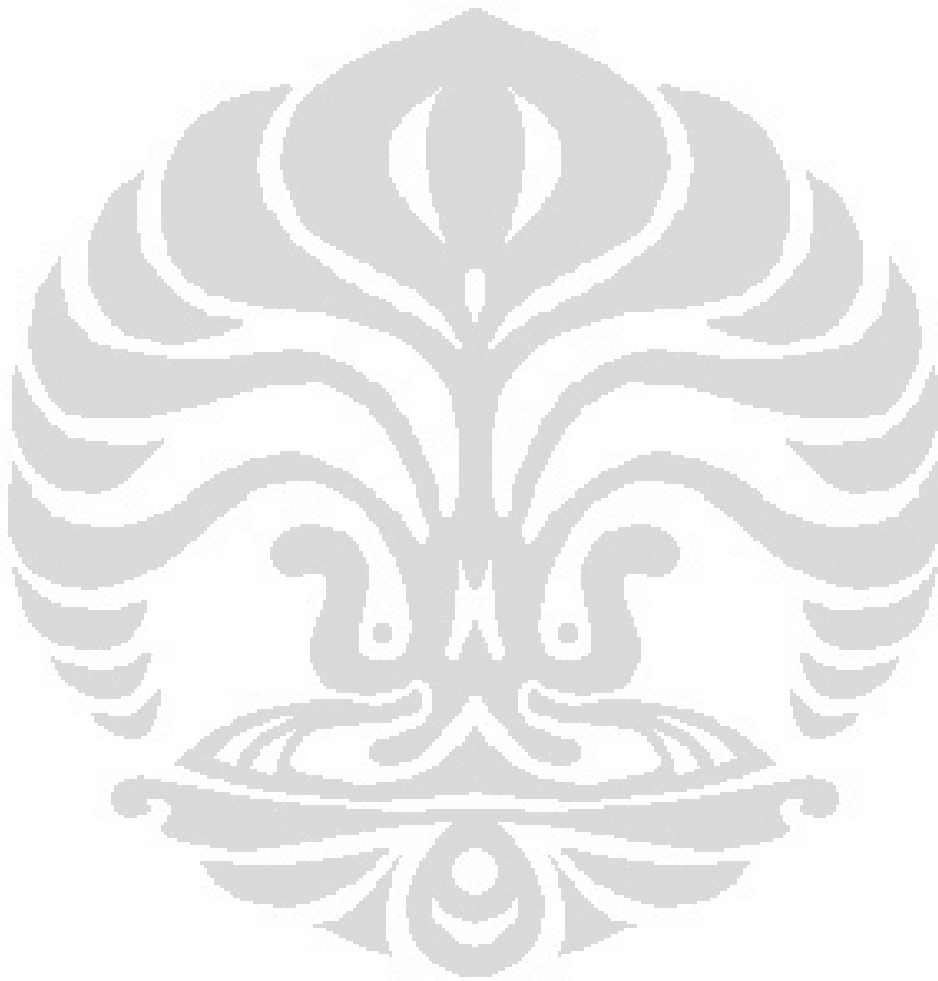
	halaman
Gambar 1.1 Beberapa regulator dengan bola gotri yang terdapat di bagian saluran keluarnya.....	2
Gambar 2.1 Penampang dalam regulator[3] .....	9
Gambar 2.2 Konstruksi lubang keluar regulator[3] .....	11
Gambar 2.3 Skematik regulator saat tidak terpasang ( <i>Gas Appliance Handbook</i> ) .....	12
Gambar 2.4 Skematik regulator saat terpasang dan kompor menyala.....	13
Gambar 2.5 Skematik regulator saat terjadi “lock-up” dan kompor mati. Solenoid valve pada gambar merupakan bola gotri pada regulator gas LPG .	14
Gambar 2.6 Kurva performansi regulator akibat efek kumulatif (a) pegas; (b) diafragma dan; (c) badan regulator ( <i>Gas Appliance Regulator</i> ) ...	14
Gambar 2.7 Efek venturi terhadap tekanan statik dan tekanan dinamik.....	15
Gambar 2.8 Grafik hubungan antara bilangan Reynolds dengan koefisien hambatan profil bola ( <i>Frank M. White, 2001</i> ) .....	20
Gambar 2.9 Metodologi penelitian pada proses penghentakan <i>check valve</i> [14]...	21
Gambar 3.2 Gas LPG 3 kg .....	22
Gambar 3.2 Diagram alir pengujian .....	23
Gambar 3.3 Salah satu regulator yang digunakan pada penelitian dengan bola gotri pada bagian saluran keluarnya .....	24
Gambar 3.4. <i>Pressure transducer</i> dan <i>pressure meter</i> .....	25
Gambar 3.5 Termometer digital .....	25
Gambar 3.6 Data akusisi RS 232 converter .....	26
Gambar 3.7 Rotameter .....	26
Gambar 3.8 Grafik hasil kalibrasi rotameter hubungan antara skala rotameter dengan laju aliran .....	27
Gambar 3.9 Selang dan klem .....	28
Gambar 3.10 <i>Bunsen burner</i> dan pemantik api .....	28

Gambar 3.11 <i>Needle valve</i> .....	29
Gambar 3.12 <i>Wetgas</i> .....	29
Gambar 3.13 Timbangan digital.....	30
Gambar 3.14 Perangkat komputer .....	30
Gambar 3.15 Instalasi pengujian untuk percobaan hubungan laju aliran dengan tekanan keluar regulator .....	32
Gambar 3.16 Instalasi pengujian untuk percobaan aliran balik pada regulator ....	34
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara laju aliran dengan tekanan keluar regulator dengan bola gotri pada saluran keluaranya .....	36
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara laju aliran dengan tekanan keluar regulator tanpa bola gotri pada saluran keluaranya .....	38
Gambar 4.3 Hubungan antara laju aliran dengan perbedaan tekanan pada daerah sebelum dan sesudah bola gotri .....	39
Gambar 4.4 Grafik laju perubahan massa yang terukur pada timbangan digital berbanding dengan skala rotameter.....	41
Gambar 4.5 Hubungan antara waktu dan perubahan massa pada kemiringan tabung $90^0$ .....	43
Gambar 4.6 Hubungan antara waktu dengan laju aliran volume pada kemiringan tabung $90^0$ .....	43
Gambar 4.7 Hubungan antara waktu dan tekanan keluar regulator pada kemiringan tabung $90^0$ .....	45
Gambar 4.8 Hubungan antara waktu dan perubahan massa yang terjadi pada regulator $d_o = 3,25$ mm selama 2 jam .....	46
Gambar 4.9 Hubungan antara waktu dan laju aliran volume yang terukur rotameter pada regulator $d_o = 3,25$ mm selama 2 jam .....	46
Gambar 4.10 Hubungan antara waktu dan tekanan yang terukur rotameter pada regulator $d_o = 3,25$ mm selama 2 jam .....	47
Gambar 4.11 Grafik hubungan antara waktu dengan kenaikan tekanan aliran balik dalam berbagai variasi laju aliran pada regulator $d_o = 3$ mm.....	48
Gambar 4.12 Grafik hubungan antara waktu dengan kenaikan tekanan aliran balik dalam berbagai variasi laju aliran pada regulator $d_o = 3,25$ mm.....	49

Gambar 4.13 Grafik hubungan antara waktu dengan kenaikan tekanan aliran balik dalam berbagai variasi laju aliran pada regulator  $d_o = 3,5$  mm.....50

Gambar 4.14 Hubungan antara skala rotameter yang diuji dengan gaya seret atau *Drag* yang ditimbulkan.....54

Gambar 4.15 Hubungan antara laju volume dengan gaya drag yang dihasilkan pada pengujian aliran balik .....55



## DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1 Kontribusi dari gaya <i>drag</i> tekanan ( $D_p$ ) dan <i>drag</i> gesekan viskos ( $D_f$ ) .....	19
Tabel 3.1 Geometri saluran keluar regulator dan bola gotri .....	24
Tabel 3.2 Kalibrasi rotameter .....	27
Tabel 4.1 Hasil pengujian laju aliran dengan tekanan keluar regulator dengan bola gotri.....	36
Tabel 4.2 Hasil pengujian laju aliran dengan tekanan keluar regulator tanpa bola gotri .....	37
Tabel 4.3 Perbedaan tekanan keluar regulator ( $\Delta p$ ) pada keluaran regulator dengan dan tanpa bola gotri.....	39
Tabel 4.4 Hubungan antara skala rotameter dengan laju aliran massa yang terukur .....	41
Tabel 4.5 Waktu penutupan bola gotri pada regulator pada pengujian aliran balik .....	51
Tabel 4.6 Besarnya gaya seret atau <i>Drag</i> sesuai dengan skala rotameter yang diatur .....	53
Tabel 4.7 Besarnya gaya seret sesuai dengan laju aliran volume yang diatur pada pengujian aliran balik.....	55

## DAFTAR SIMBOL

$A_i$	luas permukaan lubang masuk saluran keluar regulator ( $m^2$ )
$A_g$	luas penampang bola gotri ( $m^2$ )
$F_d$	gaya seret (N)
$C_d$	koefisien <i>Drag</i>
$C_p$	<i>drag</i> tekanan atau koefisien tekanan
$P$	tekanan pada permukaan (barg)
$P_{\sim}$	tekanan streamline (barg)
$V$	kecepatan aliran (m/s)
$d_i$	diameter lubang masuk saluran keluar regulator (mm)
$d_g$	diameter bola gotri (mm)
$d_o$	diameter lubang keluar regulator (mm)
$D_s$	diameter saluran keluar regulator (mm)
$L$	panjang lintasan bola gotri (mm)
$m$	massa bola gotri (gr)
$\dot{m}$	laju aliran massa (gr/s)
$A$	luas permukaan bidang alir ( $m^2$ )
$Re$	bilangan Reynolds
$\pi$	phi = 3,14285
$\mu$	viskositas dinamik ( $Ns/m^2$ )
$\rho$	massa jenis fluida ( $kg/m^3$ )



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Berdasarkan kebijakan pemerintah mengenai adanya konversi penggunaan minyak tanah menjadi gas LPG untuk kebutuhan rumah tangga[1], pemerintah telah membagikan komponen-komponen yang terkait dengan penggunaan gas LPG tersebut. Komponen tersebut diantaranya kompor, selang dan regulator gas LPG[2]. Konstruksi komponen-komponen tersebut sangat penting diperhatikan untuk menghindari timbulnya kecelakaan akibat penggunaan gas LPG. Salah satunya yang berkaitan dengan regulator gas LPG.

Berdasarkan SNI, regulator merupakan alat pengatur tekanan untuk tabung baja LPG yang berfungsi untuk menyalur dan mengatur serta menstabilkan tekanan gas yang keluar dari tabung baja LPG supaya aliran gas menjadi konstan[3]. Pada gas LPG 3 kg dan 12 kg, digunakan regulator tekanan rendah dengan tekanan keluar maksimal 3 kPa.

Beberapa hal penting yang terkait dengan regulator diantaranya berkaitan dengan sistem pengunci pada katup tabung baja gas LPG, kestabilan antara tekanan masuk dan keluar, konstruksi, ketahanan dan kebocoran. Informasi mengenai adanya kekurangan pada bagian kunci regulator telah dipublikasikan oleh BPPT, tentang kemungkinan adanya kebocoran gas pada bagian antara saluran masuk regulator dengan katup tabung gas LPG dan kualitas seal yang umumnya tidak memenuhi persyaratan[4]. Penelitian yang berkaitan dengan katup regulator juga telah dilakukan oleh Puspiptek[5]. Meskipun begitu, penelitian yang berkaitan dengan saluran keluar, khususnya pengaman saat kebocoran dan untuk menutup adanya aliran balik atau *reverse flow* dari bagian selang belum ada yang mempublikasikan.

Beberapa regulator gas LPG yang diberikan oleh pemerintah dilengkapi dengan bola gotri atau *safety ball* pada bagian saluran keluarannya. Bola ini berfungsi untuk menutup berfungsi untuk mengukur tekanan di dalam dan di luar tabung sehingga dapat menutup aliran ketika terjadi bocor pada selang[6]. Namun, pada Standar Nasional Indonesia yang berkaitan dengan regulator gas LPG tidak



balik. Lebih lanjut, akan diketahui seberapa cepat bola gotri tersebut menutup ketika aliran balik terjadi.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan paparan di atas maka permasalahan yang dapat diambil yaitu:

- a. Bagaimana bola gotri berperan sebagai *ball check valve* pada regulator gas LPG.
- b. Berapa batas debit dan tekanan minimum bola gotri ketika menutup pada peristiwa *overpressure* dan *backpressure*.
- c. Seberapa cepat bola gotri mengatasi *overpressure* dan *backpressure* pada regulator.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah memaparkan fungsi bola gotri sebagai pengaman atau *ball check valve* pada outlet regulator gas LPG dan menunjukkan batas debit dan tekanan minimum bola gotri ketika menutup pada peristiwa *overpressure* dan *backpressure*. Serta, menunjukkan seberapa cepat bola gotri tersebut menutup.

## 1.4 Batasan Masalah

Penelitian kajian eksperimental fungsi bola gotri ini dibatasi oleh beberapa asumsi dan keadaan berikut ini:

1. Regulator yang digunakan terdiri dari 3 jenis regulator gas LPG yang memiliki lubang keluaran (*outlet*) yang berbeda.
2. Penelitian dilakukan dengan cara memberi aliran air dengan debit tertentu melalui dua arah, yaitu pada bagian masukan regulator sebagai simulasi adanya *overpressure* dan pada bagian keluaran regulator sebagai simulasi adanya *backpressure*.
3. Percobaan *overpressure* menggunakan aliran gas LPG 3 kg dengan tekanan awal berkisar pada 5-6 bar.

4. Eksperimen *back pressure* dilakukan menggunakan udara sebagai pengganti aliran LPG.
5. Simulasi ini tidak memperhitungkan adanya membran pada regulator gas tersebut.

### 1.5 Metode Penelitian

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis melakukan beberapa metode dalam penulisan, yaitu:

#### 1. Studi literatur dan konsultasi

Sebagai bahan penunjang dalam hal penulisan, penulisan tugas akhir ini didasarkan pada beberapa literatur yang mendukung. Bahan referensi tersebut diantaranya jurnal, paper, buku-buku, *e-mail*, *e-book*, dan *e-news*. Selain itu, sebagai langkah awal penentuan tema dan pengembangan penelitian yang akan dilakukan, diperlukan konsultasi dengan dosen pembimbing untuk memperoleh informasi tambahan lainnya mengenai studi literatur dan penelitian yang akan dilakukan.

#### 2. Membuat alat uji di laboratorium

Alat uji yang dibuat mengikuti rancangan awal yang telah dikonsultasikan dengan dosen pembimbing. Penelitian dilakukan di Laboratorium Termodinamika, *Flame and Combustion Research Group*, Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia.

#### 3. Pengumpulan data

Data-data yang telah diperoleh menggunakan alat uji laboratorium selanjutnya dibandingkan dengan dasar teori yang ada berdasarkan studi literature yang telah dilakukan. Selain itu, dilakukan proses diskusi bersama dengan tim skripsi dan dosen pembimbing. Data yang diambil dari eksperimen berupa tekanan, temperature, debit dan waktu yang dibutuhkan oleh bola gotri pada regulator untuk mempertahankan dirinya di tempat dan menutup sebagai pengaman mengatasi *overpressure* dan *backpressure*.

#### 4. Pengolahan data

Data-data yang telah didapat, kemudian diolah untuk menentukan batas debit dan tekanan minimum, serta menentukan waktu yang dibutuhkan regulator untuk menutup atau *ball check valve* tersebut bekerja. Sehingga, lebih lanjut akan didapatkan kecepatan bola gotri tersebut menutup.

#### 5. Analisis data

Data-data dari pengolahan digunakan untuk menganalisis fungsi bola gotri pada regulator dan karakteristik bola tersebut pada setiap regulator.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini meliputi beberapa bab, yaitu:

**BAB I** : Bab ini membahas mengenai latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, metode penelitian, batasan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini, metode penulisan dalam hal ini bagaimana penulis mendapatkan informasi mengenai penelitian ini serta sistematika penulisan.

**BAB II** : Bab ini menjelaskan mengenai landasan teori yang berhubungan dan digunakan dalam menyelesaikan masalah yang dibahas.

**BAB III** : Bab ini menjelaskan mengenai rancangan alat uji, peralatan-peralatan pendukung, kondisi serta prosedur pengujian dan pengambilan data.

**BAB IV** : Bab ini menjelaskan mengenai pengolahan data, menampilkan data penelitian, grafik yang didapat dari pengujian, hasil dari pengujian serta analisis dari hasil penelitian.

**BAB V** : Bab ini merupakan bab penutup, pada bab ini diberikan kesimpulan serta saran mengenai penelitian lanjutan yang dapat dilakukan.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Liquefied Petroleum Gas

Liquefied Petroleum Gas merupakan gas hidrokarbon yang dicairkan dengan tekanan untuk memudahkan penyimpanan, pengangkutan dan penanganannya yang pada dasarnya terdiri dari propana, butana, atau campuran keduanya. LPG merupakan salah satu hasil produksi dari destilasi minyak bumi atau proses pemisahan gas alam. LPG mempunyai bentuk gas dalam suhu kamar dan tidak mempunyai warna dan bau, titik didihnya  $-6.3^{\circ}\text{C}$  untuk Butana dan  $-42,2^{\circ}\text{C}$  untuk Propana [10].

Sistem gas LPG yang digunakan konsumen, khususnya di Indonesia dalam rangka konversi dari minyak tanah ke gas LPG terdiri dari tabung gas LPG, regulator, selang gas dan kompor gas. Semua sistem tersebut dijual setelah lulus standar Nasional Indonesia, sebagai contoh SNI 1452:2007 untuk tabung baja LPG dan SNI 7369:2009 untuk regulator. Standar ini diberlakukan untuk mendapatkan jaminan mutu dan kualitas produk tersebut, khususnya dalam segi keamanan [2].

Salah satu produk Liquefied Petroleum Gas (LPG) PERTAMINA memiliki brand Elpiji, merupakan gas hasil produksi dari kilang minyak (Kilang BBM) dan Kilang gas, yang komponen utamanya adalah gas propana ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) dan butana ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ) lebih kurang 99 % dan selebihnya adalah gas pentana ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ) yang dicairkan.

Secara umum sifat ELPIJI adalah sebagai berikut :

- a. Berat jenis gas ELPIJI lebih besar dari udara, yaitu :
  - Butana mempunyai berat jenis dua kali berat jenis udara.
  - Propana mempunyai berat jenis satu setengah kali berat udara.
- b. Tidak mempunyai sifat pelumasan terhadap metal.
- c. Merupakan *solvent* yang baik terhadap karet, sehingga perlu diperhatikan terhadap kemasan atau tabung yang dipakai.
- d. Tidak berwarna baik berupa cairan maupun dalam bentuk gas.

- e. Tidak berbau. Sehingga untuk keamanan, ELPIJI komersial perlu ditambah zat odor, yaitu *ethyl mercaptane* yang berbau menyengat seperti petai.
- f. Tidak mengandung racun.
- g. Bila menguap di udara bebas akan membentuk lapisan karena kondensasi sehingga adanya aliran gas.
- h. Setiap kilo gram ELPIJI cair dapat berubah menjadi kurang lebih 500 liter gas ELPIJI.
- i. LPG menghambur di udara secara perlahan sehingga sukar mengetahuinya secara dini.
- j. Tekanan gas LPG cukup besar, sehingga bila terjadi kebocoran LPG akan membentuk gas secara cepat, memuai dan sangat mudah terbakar.

Jenis produk yang ditawarkan PERTAMINA agar dimanfaatkan oleh konsumen adalah jenis ELPIJI campuran antara Propana dan Butana. Kandungan yang dimiliki propane dan butane adalah 50:50 [10]. Ciri-cirinya adalah berbentuk cair, mempunyai daya pemanasan yang tinggi karena mempunyai nilai kalori yang relatif lebih tinggi per-satuan beratnya dibanding bahan bakar lain untuk kegunaan yang sama. Selain itu, tingkat polusi udara dari gas buang rendah dan tidak meninggalkan residu apabila menguap. Ciri-ciri lainnya adalah tidak beracun, tidak berwarna, mudah dan aman dalam pengangkutan dan penyimpanannya. Tidak menyebabkan pengkaratan pada besi dan tabung kemasan.

## 2.2 Regulator Tekanan Rendah LPG

Regulator pada perangkat kompor LPG berfungsi untuk mengatur tekanan yang keluar dari tabung gas LPG. Selain itu, regulator tersebut berfungsi untuk menyalur dan mengatur serta menstabilkan tekanan gas yang keluar dari tabung gas baja LPG supaya aliran gas menjadi konstan. Regulator tekanan rendah dirancang khusus untuk mengatur tipe tabung baja LPG dengan tekanan keluar maksimal 5 kPa. Regulator pada kompor rumah tangga pada umumnya termasuk dalam kategori regulator tekanan rendah. Pada saat pemakain regulator ini tidak boleh bergetar dan tidak mengeluarkan bunyi saat pemasangan. Tekanan masuk

dari regulator ini berkisar pada nilai 0.7 MPa dengan tekanan keluar minimal mencapai 2.8 kPa dengan toleransi  $\pm 0.47$  kPa[3].

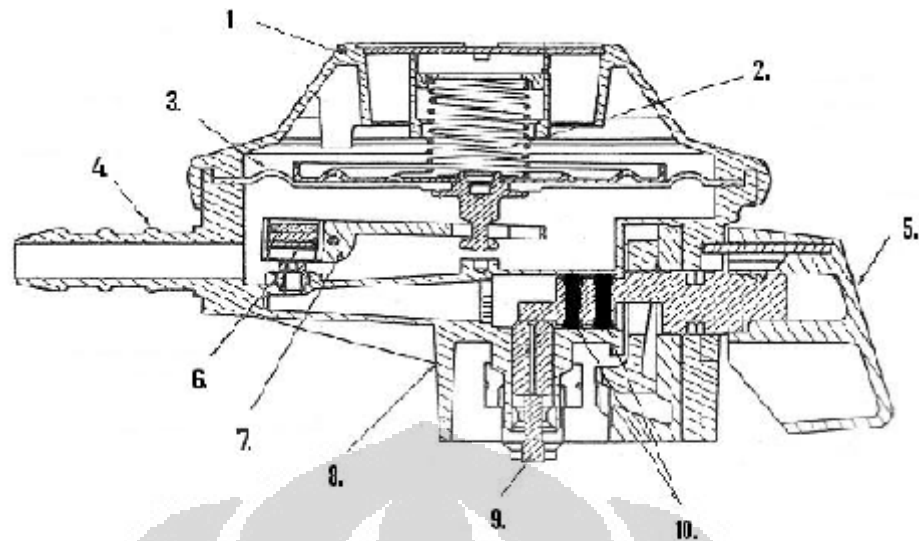
### 2.2.1 Konstruksi

Regulator tekanan rendah gas LPG yang sesuai dengan SNI, memiliki bahan paduan dengan daya tahan dan keamanan yang dibuat dari paduan Zn dengan cara tempa panas Zn Al<sub>4</sub> dan memiliki sifat anti karat dan memiliki daya tahan terhadap gas LPG. Selain itu, bahan tersebut juga tidak boleh berubah bentuk pada suhu 80<sup>0</sup>C dan memiliki kekuatan impak minimal 14,7 Nm.

Komponen lainnya seperti spindel katup, pengunci spindel katup dan bushing terbuat dari kuningan atau paduan yang memiliki sifat anti karat, tidak keropos dan memiliki kekuatan impak minimal 1,35 Nm. Sedangkan bahan komponen karet membran (*rubber diaphragm*), bantalan katup (*valve pad*) dan cincin perapat yang terbuat dari bahan karet yang tidak lekat, bebas dari pori-pori juga partikel asing serta mempunyai permukaan yang halus dan rata tidak ada lekukan. Kunci pemutar (*interlock*) terbuat dari bahan poly-plastic (syn-plastic) atau yang setara dan bahan thermoplastic untuk tuas dan bushing.

Konstruksi inlet dan outlet regulator tekanan rendah terdiri dari penyambung katup tabung baja atau saluran masuk dan saluran keluar. Penyambung katup tabung baja merupakan penyambung antara regulator dan katup tabung baja untuk menyalur aliran LPG yang mengalir masuk ke regulator. Saluran keluar merupakan bagian dari regulator yang berfungsi sebagai penyambung dengan selang karet LPG (*flexible hose*). Bagian-bagian regulator dapat dilihat dalam gambar 2.1.





Gambar 2.1. Penampang dalam regulator[3]

Bagian-bagian regulator sesuai dengan gambar 2.1 ialah:

1. Penutup regulator
2. Pegas beban
3. Karet membran
4. Saluran keluar
5. Kunci pemutar
6. Bantalan katup
7. Penghubung mekanis
8. Badan regulator
9. Spindel katup
10. Cincin perapat

### 2.2.2 Uji Syarat Mutu

Berdasarkan SNI 7369:2008, syarat mutu sebuah regulator berkaitan dengan bunyi dan getaran, tekanan keluar, tekanan pengaman (*lock up*), ketahanan jatuh, daya ketahanan kunci pemutar, ketahanan, suhu, kebocoran dan ketahanan bahan karet.

Regulator tekanan rendah tidak boleh bergetar dan tidak mengeluarkan bunyi pada saat dipasang di katup tabung baja LPG. Dengan tekanan masuk

sebesar 0,7 MPa, tekanan keluar dari regulator minimal mencapai 2,8 KPa dengan toleransi  $\pm 0,47$  kPa. Pada saat tidak ada arus aliran keluar, tekanan pada pengaman tidak boleh melebihi 41 mbar.

Ketahanan jatuh suatu regulator diuji dengan cara dijatuhkan dari ketinggian satu meter dari permukaan lantai, dan tidak boleh ada retak maupun pecah pada badan regulator secara visual maupun mekanisme regulator tersebut. Daya ketahanan kunci pemutar ditandai dengan cara mengunci dan membuka pada katup tabung baja LPG tanpa ada keausan, kerusakan maupun patah pada kunci pemutar. Sedangkan uji ketahanan regulator dilakukan dengan cara mengaliri regulator dengan tekanan masuk sebesar 7 bar (100 psi) dengan cara mengisi dan melepaskan udara tanpa adanya kebocoran dan toleransi tekanan pengaman tidak boleh melebihi 110%.

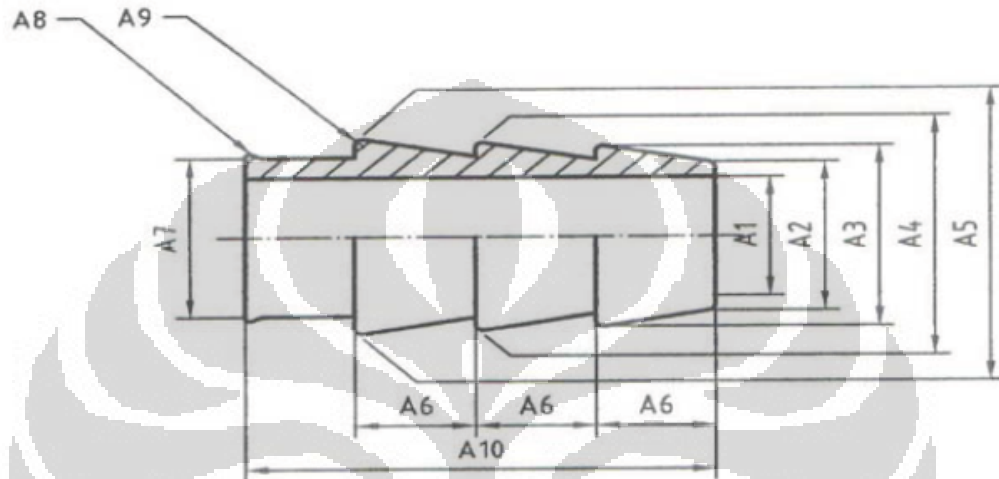
Kinerja mekanis regulator terhadap suhu diuji terhadap variasi  $0^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$  dengan tekanan keluar sebesar  $2,8 \text{ kPa} \pm 0,47 \text{ kPa}$  dan tekanan pengaman tidak melebihi 4,1 kPa.

Uji mutu kebocoran pada regulator dilihat pada bagian penutup regulator dan bagian kunci pemutar. Sedangkan uji mutu yang berkaitan dengan ketahanan komponen bahan karet membran, bantalan katup, dan cincing perapat tidak boleh menyusut melebihi 1%, mengembang melebihi 25% dan kehilangan berat melebihi 10%.

### **2.2.3 Safety ball (Bola Gotri)**

Pengaman bola gotri merupakan suatu bola pada bagian keluaran regulator. Konstruksi bagian keluaran regulator dapat dilihat pada gambar 2.2. Fungsi utama bola gotri ialah menjaga agar tekanan pada bagian keluaran regulator tidak melebihi 41 mbar. Pada dasarnya, bola gotri juga berfungsi untuk mengukur tekanan di dalam dan di luar tabung sehingga dapat menutup aliran ketika terjadi bocor pada selang[6]. Penggunaan bola gotri ini tidak diatur dalam standar SNI, namun kebanyakan regulator pada umumnya memiliki bola gotri pada bagian keluarannya, termasuk regulator yang diberikan oleh subsidi pemerintah.

Bola gotri memiliki dimensi dan massa yang berbeda-beda di setiap regulator. Bola gotri dapat menyebabkan *lock up* pada regulator. Bola gotri yang tertahan pada lubang regulator dapat menyumbat dan menghentikan aliran gas yang menuju kompor. Hal ini dapat terjadi pada awal penggunaan gas LPG maupun ketika penggunaan LPG berlangsung.



Gambar 2.2 Konstruksi lubang keluar regulator[3]

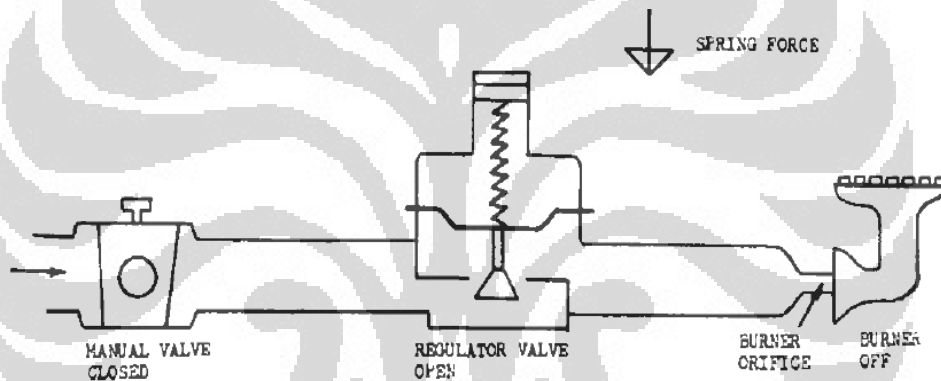
Keterangan gambar 2.2 :

No	Uraian	Nilai (mm)
1	Diameter dalam uliran saluran ke selang (A1)	$7,5 \pm 0,1$
2	Diameter luar uliran ke-1 (A2)	$10,0 \pm 0,1$
3	Diameter luar uliran ke-2 (A3)	$12,5 \pm 0,1$
4	Diameter luar uliran ke-3 (A4)	$13,0 \pm 0,1$
5	Diameter luar uliran ke-4 (A5)	$13,5 \pm 0,1$
6	Jarak uliran (A6)	6,5
7	Diameter luar uliran saluran dalam (A7)	11,0 – 11,5
8	Jarak pipih ( <i>Ronness</i> /kebulatan) (A8)	1,0 – 1,5

9	Jarak pipih uliran (A9)	0,3 – 0,5
10	Jarak uliran ke-1 dengan uliran ke-4 (A10)	4 x 6,5

#### 2.2.4 Cara Kerja

Regulator bekerja dalam keadaan tekanan masuk yang berbeda-beda, namun diharapkan tekanan yang keluar dalam keadaan stabil. Pada saat regulator tidak terpasang (*manual valve closed*) pada tabung baja LPG, tidak ada tekanan di dalam *manifold* atau bagian inlet dari regulator. Pegas akan menekan diafragma ke bawah dan katup regulator akan terbuka lebar. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.3.

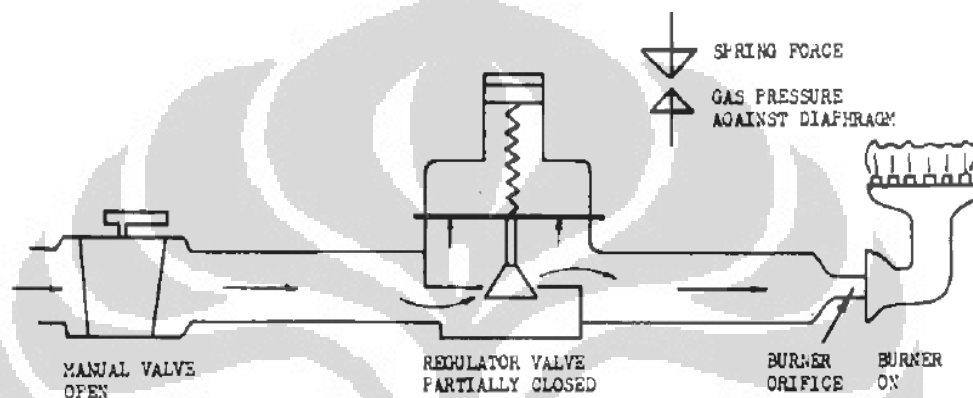


Gambar 2.3 Skematik regulator saat tidak terpasang (*Gas Appliance Handbook*)

Ketika regulator terpasang, tekanan gas akan menekan bagian masuk regulator. Diafragma regulator bergerak *flexible*. Tekanan gas pada bagian keluar regulator atau bagian setelah katup regulator akan menekan diafragma ke atas melawan gaya pegas. Pergerakan diafragma keatas menyebabkan sebagian katup regulator tertutup. Katup regulator akan menjaga aliran yang masuk dari bagian inlet menuju bagian outlet dan keseimbangan akan terjadi ketika gaya akibat tekanan gas yang menekan diafragma ke atas sebanding dengan gaya ke bawah yang dilakukan oleh pegas. Peningkatan tekanan gas masuk menyebabkan pembukaan katup regulator meningkat pula. Meskipun begitu, tekanan gas keluar yang terlalu besar akan menekan diafragma keatas dan lebih jauh menyebabkan pembatasan katup regulator itu sendiri. Proses ini akan terjadi terus hingga

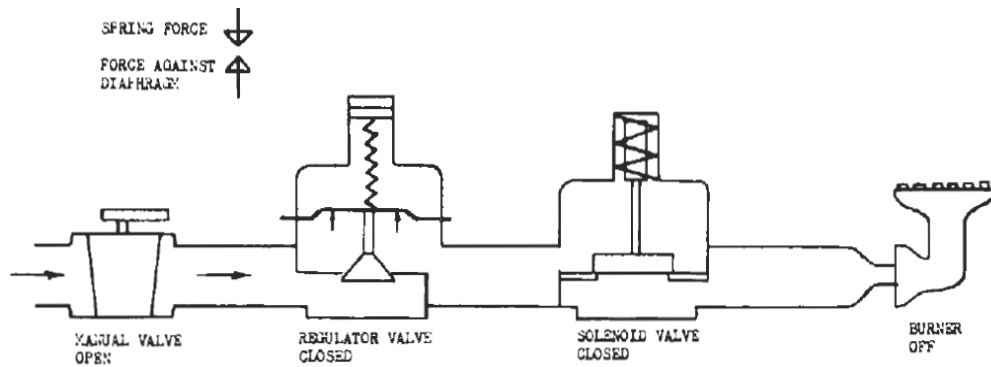
keadaan setimbang tercapai dan regulator akan menghasilkan tekanan keluaran yang konstan. Gambar 2.4 merupakan skematik dari proses tersebut.

Tekanan gas masuk yang menurun menyebabkan penurunan aliran yang masuk melewati katup regulator diikuti dengan tekanan keluar yang menurun. Penurunan tekanan gas keluar menyebabkan diafragma bergerak turun akibat gaya yang diberikan oleh pegas. Sehingga, katup regulator sebagian terbuka hingga tercapai keadaan setimbang (*equilibrium*) dan menghasilkan tekanan gas yang tetap.



Gambar 2.4 Skematik regulator saat terpasang dan kompor menyala

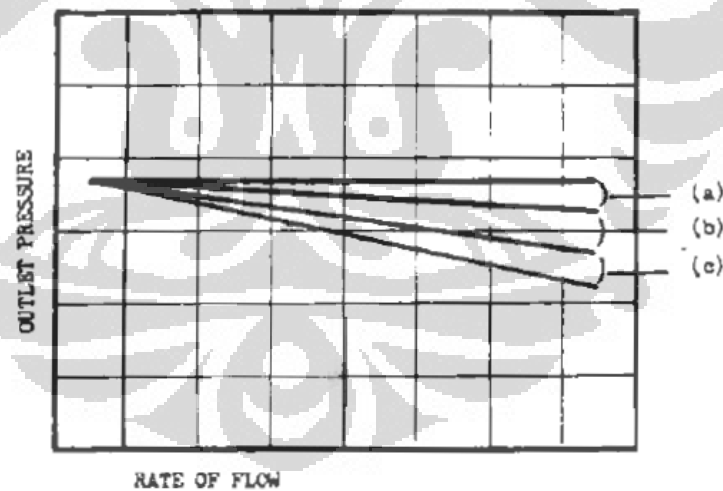
Ketika suatu katup pengaman diberikan pada bagian keluaran regulator, katup pengaman yang tertutup menyebabkan tidak ada aliran gas yang keluar dari regulator dan menyebabkan tekanan yang menekan diafragma dan diikuti dengan penutupan katup regulator. Kondisi ini biasa disebut dengan *lock up*. Katup pengaman akan terbuka kembali ketika katup pengaman mulai terbuka dan akan mengalirkan gas LPG seperti langkah-langkah sebelumnya. Proses *lock up* terlihat seperti pada gambar 2.5. *Solenoid valve* pada gambar tersebut merupakan katup pengaman yang dimaksud. Sedangkan, pada regulator yang biasa dijual di Indonesia, katup pengaman tersebut merupakan bola gotri yang terletak pada bagian keluar regulator.



Gambar 2.5 Skematik regulator saat terjadi “lock-up” dan kompor mati. Solenoid valve pada gambar merupakan bola gotri pada beberapa regulator gas LPG

### 2.2.5 Performansi Regulator

Regulator dirancang untuk menghasilkan tekanan keluar konstan pada setiap laju aliran dan tekanan masuk. Hal ini dapat dilihat dalam grafik laju aliran yang bervariasi terhadap tekanan keluar regulator. Secara teoritis, regulator ideal akan menunjukkan tekanan yang konstan berapapun jumlah alirannya dari nol sampai maksimum seperti yang digambarkan dengan garis horizontal pada gambar 2.5.



Gambar 2.6 Kurva performansi regulator akibat efek kumulatif (a)pegas; (b)diafragma dan ;(c)badan regulator (*Gas Appliance Regulator*)

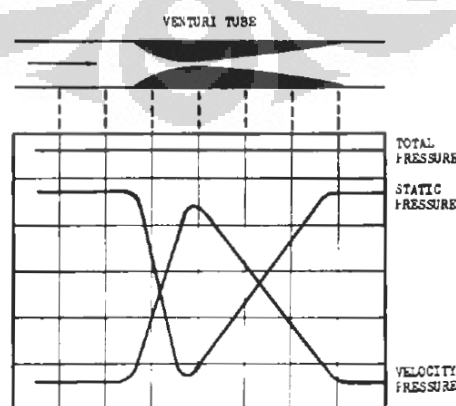
Gaya pegas pada regulator akan berkurang seiring dengan laju aliran yang meningkat, gaya ke atas yang disebabkan oleh tekanan gas menekan pegas dan menghasilkan tekanan keluar yang menurun. Hal ini dikenal sebagai efek pegas (*Spring effect*) dapat dilihat dalam gambar 2.6 pada keterangan (a).

Faktor kedua yang mempengaruhi penurunan tekanan keluar adalah variasi posisi dari diafragma. Ketika diafragma turun ke bawah untuk membuka katup regulator, area diafragma akan semakin luas dan membutuhkan sedikit tekanan untuk menyamakan gaya pegas. Efek ini dikenal sebagai efek diafragma (*diaphragm effect*) yang lebih jauh akan mengurangi tekanan keluar. Pada gambar 2.6, efek diafragma terlihat pada keterangan (b).

Keterangan (c) pada gambar 2.6, menjelaskan penurunan tekanan keluar akibat turbulensi gas dan kerugian gesek antara aliran gas dengan katup dan saluran keluar regulator. Hal ini menyebabkan perubahan tekanan statik (tekanan gas mengalami penekanan dari seluruh arah di dalam regulator) karena kerugian gesek maupun perubahan tekanan kecepatan (tekanan keluar gas oleh aliran yang melewati regulator). Keadaan ini dikenal sebagai efek badan (*body effect*).

Untuk mengatasi efek pegas, pabrikan regulator menggunakan pegas yang lebih *flexible* dan tempat penempatan regulator yang lebih luas. Kerugian gesek dapat diatasi dengan membuat garis kontrol atau lubang pada tempat penempatan regulator untuk mengurangi tumbukan gas secara langsung dengan diafragma.

Efek badan dapat diatasi dengan mengadopsi prinsip kerja yang melewati venturi, dimana tekanan kecepatan akan meningkat akibat pengurangan area, tetapi tekanan statik akan berkurang. Tekanan kecepatan dan tekanan statik merupakan tekanan total yang terdapat di regulator yang memiliki nilai saling berkebalikan sesuai dengan gambar 2.



Gambar 2.7 Efek venturi terhadap tekanan statik dan tekanan dinamik

Penurunan jumlah tekanan static bergantung pada volume gas yang melewatinya. Sehingga, penempatan rintangan/halangan pada saluran keluar menyebabkan tekanan gaya meningkat dan tekanan static menurun.

Adanya *safety ball* atau bola gotri pada saluran keluar regulator gas dapat tergolong sebagai efek badan regulator yang dapat mempengaruhi tekanan keluar regulator.

Untuk menghitung laju aliran pada berbagai penurunan tekanan (*pressure drop*) dapat dihitung berdasarkan persamaan :

$$Q_2 = Q_1 \times \sqrt{\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1}} \quad (2.1)$$

Dimana, keterangan 1 merupakan keterangan yang terdapat pada suatu regulator.

### 2.3 Aliran Fluida Melewati Bola

Aliran fluida yang melewati suatu benda merupakan aliran eksternal, dimana benda yang dilewati oleh aliran tersebut dapat sepenuhnya tercelup dalam suatu fluida tertentu ataupun sebagian. Aliran yang memiliki viskositas akan memberikan efek viskos pada permukaan benda tersebut, tetapi menunjukkan efek non-viskos untuk aliran yang jauh dari benda tersebut. Lapisan yang membatasi kedua efek disebut lapisan batas. Sehingga analisis lapisan batas tersebut dapat digunakan untuk menghitung efek viskos di dekat dinding benda.

Pada dasarnya, benda yang dilewati suatu aliran terbagi menjadi dua jenis, yaitu benda *streamlined* (*streamlined body*) dan benda tumpul (*blunt body*). Benda *streamlined* akan memiliki efek yang lebih sedikit pada fluida sekitarnya dibandingkan dengan benda tumpul. Bola (*sphere*) merupakan jenis benda tumpul.

Pengetahuan mengenai benda dan aliran eksternal yang melewatinya, khususnya melewati benda bola akan berkaitan dengan bilangan Reynold, persamaan Navier-Stokes, efek perbedaan tekanan, dan komponen *drag* tersebut.



### 2.3.1 Bilangan Reynold

Bilangan reynolds merupakan paramater yang dapat menentukan suatu aliran itu laminar atau turbulen. Bilangan reynolds merupakan bilangan tak berdimensi yang menyatakan perbandingan antara gaya inersia dan gaya viskos di dalam fluida.

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (2.2)$$

$$Re = \frac{V L}{\vartheta} \quad (2.3)$$

dimana :

Re : Bilangan Reynolds

V : Kecepatan aliran (m/s)

L : Diameter bola (m)

$\vartheta$  : Viskositas kinematik ( $m^2/s$ )

Pada aliran di dalam suatu saluran (pipa/*duct*), aliran laminar merupakan aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan, dengan bilangan Reynold sekitar 2100. Sedangkan aliran turbulen merupakan 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. Aliran yang berkisar diantara aliran laminar dan turbulen merupakan aliran transisi[11].

### 2.3.2 Persamaan Navier-Stokes

Secara teori, bentuk viskos aliran tak termampatkan (*incompressible*) yang melewati suatu benda didapatkan dengan persamaan *Navier-Stokes*. Aliran gas dengan nilai Mach yang rendah dapat juga dianggap sebagai aliran tak termampatkan. 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 dapat ditulis sebagai berikut sebagai berikut:

Menurut arah sumbu x:

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2.4)$$

Menurut arah sumbu y:

$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (2.5)$$

Menurut arah sumbu z:

$$\rho \left( \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (2.6)$$

### 2.3.3 Komponen Gaya Drag




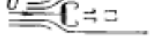
Total gaya *drag* yang bekerja pada suatu benda merupakan penjumlahan dari 4 komponen *drag* [12], yaitu :

$$\text{Total gaya drag} = \text{drag tekanan} + \text{drag gesekan viskos fluida} + \text{drag interferensi} + \text{drag induksi}$$

*Drag* tekanan adalah *drag* yang disebabkan oleh resistansi fluida untuk mengubah aliran yang mengisi ruang di belakang benda, sehingga menimbulkan perbedaan tekanan antara aliran *upstream* dan *downstream*. Hal ini menyebabkan tekanan total pada bagian belakang lebih rendah dibandingkan di bagian depan, sehingga memunculkan hisapan kearah belakang. Besarnya *drag* ini bergantung pada bentuk benda. Sebagai contoh, gaya tekanan pada plat datar yang tegak lurus aliran menyebabkan keseluruhan *drag*, sedangkan gaya tekanan pada plat datar sejajar aliran tidak berkontribusi pada *drag* karena gaya tersebut tegak lurus aliran. Nilai *drag* tekanan dapat dinyatakan dengan parameter tidak berdimensi  $C_p$ .

$$C_p = \frac{P - P_\infty}{\frac{1}{2} \rho V_\infty^2} \quad (2.7)$$

Tabel 2.1 Kontribusi dari gaya *drag* tekanan ( $D_p$ ) dan *drag* gesekan viskos ( $D_f$ )

Shape	Pressure drag $D_p$ (%)	Friction drag $D_f$ (%)
	0	100
	≈ 10	≈ 90
	≈ 90	≈ 10
	100	0

*Drag* gesekan viskos fluida disebabkan oleh tegangan geser pada permukaan benda yang mengarah tangensial terhadap permukaan benda. Tabel 2.1 menunjukkan kontribusi gaya *drag* tekanan dan gaya *drag* gesekan pada beberapa bentuk benda. *Drag* interferensi merupakan *drag* yang muncul karena adanya interaksi fluida alir dengan *defect* pada permukaan, perpotongan pada permukaan, lubang, dsb yang menyebabkan munculnya olakan. *Drag* induksi adalah *drag* yang muncul karena interaksi *vortex* pada bagian *downstream* dengan benda.

Gaya seret suatu benda yang terendam aliran dapat dicari dalam hubungan:

$$Fd = \frac{1}{2} C_d \rho A V^2 \quad (2.8)$$

Sedangkan untuk bola yang berada pada suatu pipa, dapat dianalogikan suatu bola bergerak pada pipa yang diam dan aliran Poiseuille yang melewati bola diam pada pipa. Dengan mengasumsikan  $D$  sebagai diameter dan  $H$  merupakan diameter pipa, pergerakan bola menyebabkan gaya seret atau drag total [16]:

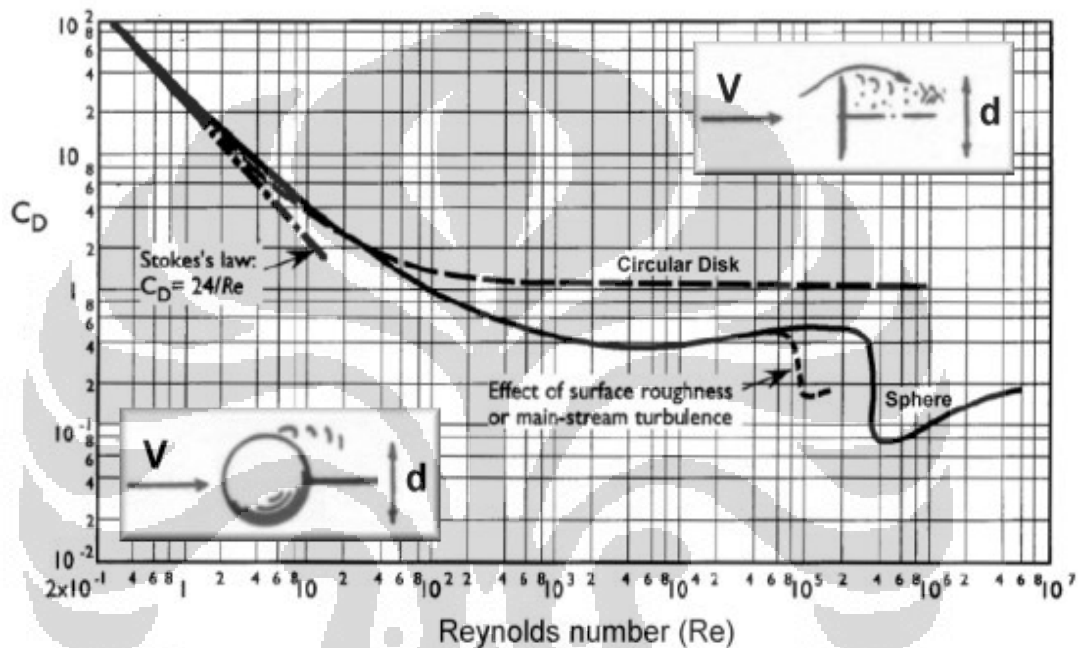
$$Fd = \frac{6\pi\mu UR(1 - 0,75857(\frac{D}{H})^5)}{(1 - 2,1050\frac{D}{H} + 2,0865(\frac{D}{H})^3 - 1,7068(\frac{D}{H})^5 + 0,72603(\frac{D}{H})^6)} \quad (2.9)$$

Sementara untuk aliran berdasarkan tekanan yang melewati bola pada pipa menghasilkan

$$Fd = \frac{6\pi\mu UR(1 - (\frac{2}{3}(\frac{D}{H})^2 - 0,20217(\frac{D}{H})^5))}{(1 - 2,1050\frac{D}{H} + 2,0865(\frac{D}{H})^3 - 1,7068(\frac{D}{H})^5 + 0,72603(\frac{D}{H})^6)} \quad (2.10)$$

Dimana,  $U$  merupakan kecepatan bola pada persamaan (2.9) dan kecepatan pipa maksimum pada persamaan (2.10)

Hubungan antara bilangan reynold suatu aliran dengan koefisien hambatan satu benda bola yang dilaluinya, mengikuti hubungan grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8 berikut ini,



Gambar 2.8 Grafik hubungan antara bilangan Reynolds dengan koefisien hambatan profil bola[13]

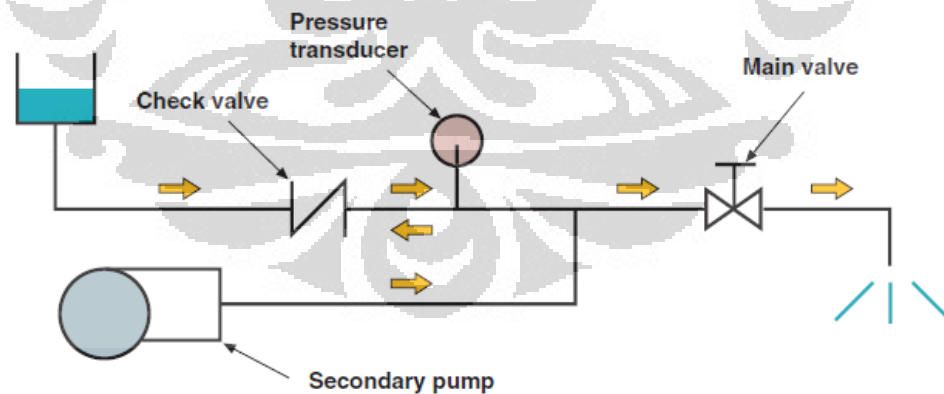
#### 2.4 Ball Check Valve

Fenomena aliran balik pada sistem catu bahan bakar, khususnya bagian selang dan regulator dapat menimbulkan kecelakaan yang besar berupa *backfire* atau *flashback*[14]. *Backfire* merupakan proses dimana api membakar *burner*. Campuran gas dengan *backfire* dapat menimbulkan *flashback*. Campuran gas pada selang menimbulkan aliran balik, dimana gas dengan tekanan tinggi mengalir menuju selang dengan tekanan rendah. Campuran gas yang cukup dapat menimbulkan ledakan yang cukup besar. Salah satu langkah yang dilakukan untuk mengatasi risiko flashback ialah menggunakan *check valve* dan penangkal api. Penangkal api biasa terdapat pada kompor.

*Check valve* merupakan katup balik yang dapat mengatasi aliran balik yang mungkin terjadi. Bola gotri yang terdapat pada regulator merupakan bentuk *ball check valve* sederhana. Ketika terdapat aliran balik yang melewati *ball check valve*, katup tersebut akan menutup atau menghentak pada dudukan katup lubang saluran masuk.

Proses penutupan *ball check valve* dapat diuji sesuai dengan metodologi pada gambar 2.9, dimana aliran balik buatan diberikan pada arah yang berlawanan[15]. Berdasarkan jurnal tersebut, John V. Balloon menggunakan *main valve* untuk mengatur tekanan keluar yang berasal dari *secondary pump* sehingga dapat diatur sedemikian rupa agar terdapat aliran balik yang dapat terjadi di saluran tersebut.

Meskipun begitu, banyak metode lain yang dapat digunakan untuk menguji *ball check valve*. Metodologi pengujian yang digunakan dalam tugas akhir ini menggunakan *three way valve* yang dapat menjaga laju aliran tertentu hingga stabil lalu dialirkan menuju *ball check valve* yang akan diuji. Semakin cepat *ball check valve* menutup, maka akan semakin cepat aliran balik tersebut tertahan pada bagian saluran keluar regulator. Penelitian lebih lanjut mengenai aliran balik yang mungkin terjadi pada sistem catu bahan bakar kompor gas dapat dilakukan untuk mengetahui keefektifan bola gotri pada regulator.



Gambar 2.9 Metodologi penelitian pada proses penghentakan *check valve*[15]

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Rancangan Alat Uji

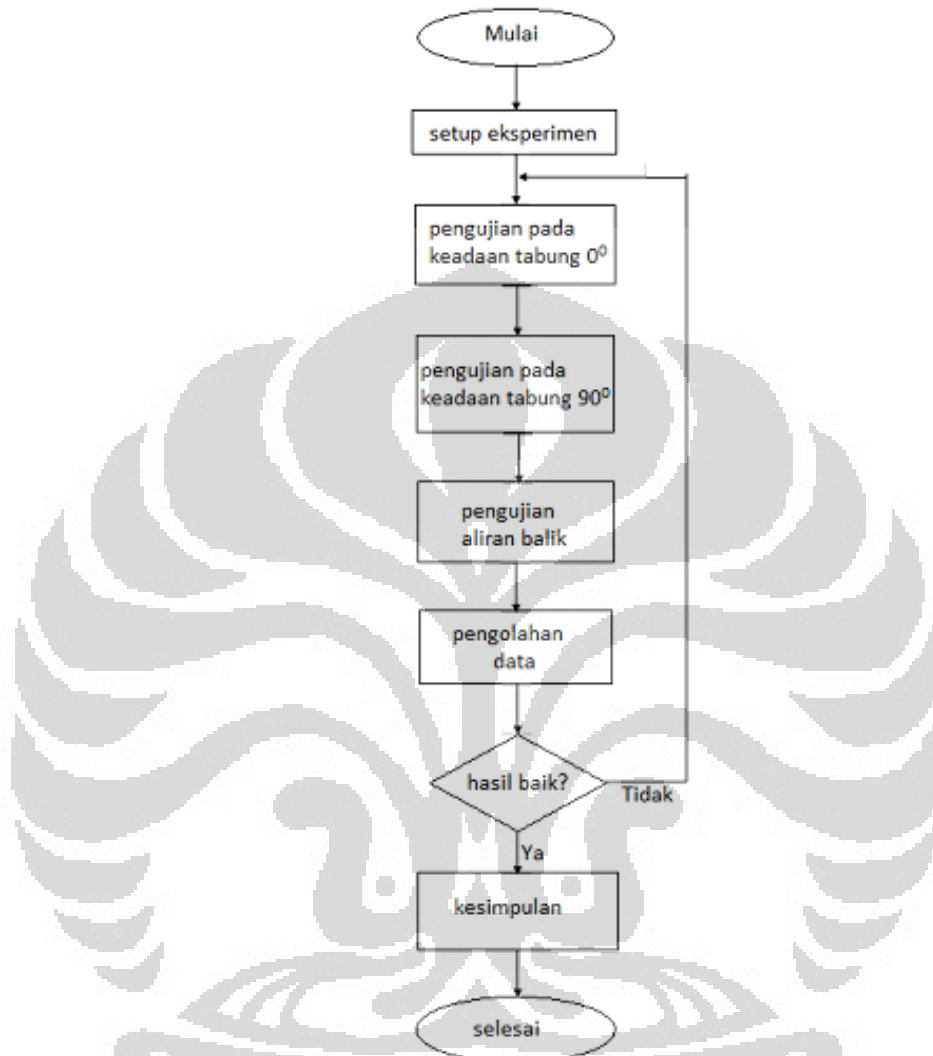
Pada penelitian ini alat uji dirancang sendiri berdasarkan dasar teori dan pengalaman dari dosen pembimbing. Alat uji dirancang untuk dua percobaan yang berbeda yang berkaitan dengan uji coba bola gotri pada regulator. Percobaan pertama merupakan percobaan yang melihat adanya hubungan antara laju aliran dengan tekanan keluar pada regulator. Percobaan ini dilakukan pada regulator dengan bola gotri dan regulator tanpa bola gotri. Percobaan kedua merupakan percobaan yang berfungsi untuk mendapatkan unjuk kerja bola gotri pada kemiringan tabung  $90^0$  ketika saluran keluar regulator dipenuhi oleh cairan LPG. Percobaan ketiga merupakan percobaan yang bertujuan untuk mendapatkan fungsi bola gotri pada regulator dalam mengatasi *back pressure* yang mungkin terjadi akibat aliran *flashback* pada kompor dan menuju selang. Keadaan *back pressure* ini dapat menyebabkan aliran balik atau *reverse flow* pada regulator dan tabung gas.

Penelitian pertama dan kedua menggunakan gas LPG 3 kg sebagai bahan ujinya. Sedangkan pada penelitian ketiga digunakan udara sebagai bahan uji pengganti gas LPG.



Gambar 3.1 Gas LPG 3 kg

Pengujian dalam tugas akhir ini, dapat diramngkum dalam diagram alir berikut ini,



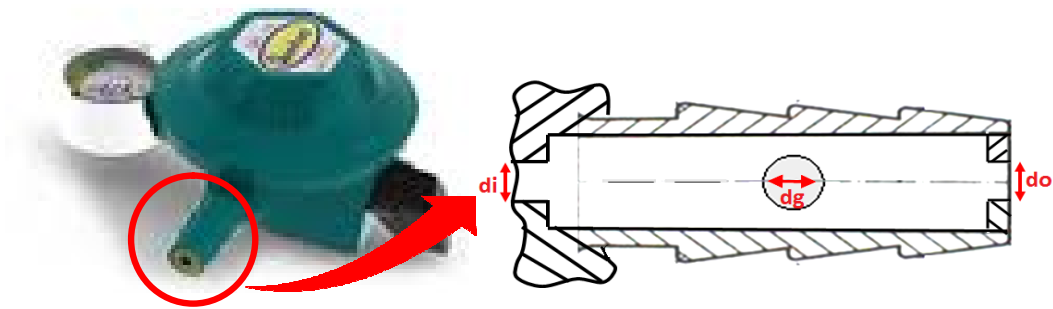
Gambar 3.2 Diagram alir pengujian

### 3.2 Peralatan

Penelitian ini menggunakan beberapa komponen peralatan yang menunjang antara lain:

#### 3.2.1 Regulator

Regulator yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 3 regulator tekanan rendah gas LPG yang dapat digunakan pada tabung gas LPG 3 kg.



Gambar 3.3 Salah satu regulator yang digunakan pada penelitian dengan bola gotri pada bagian saluran keluarnya.

Perbedaan setiap regulator terletak pada lubang keluaran regulator tersebut, yaitu 3 mm, 3,25 mm dan 3,5 mm. Perbedaan ini terdiri dari geometri saluran keluar regulator dan bola gotri terdapat pada tabel 3.1 sesuai dengan gambar 3.3.

Tabel 3.1 Geometri saluran keluar regulator dan bola gotri

regulator	do (mm)	dg (mm)	di (mm)	m (gr)	Ds (mm)	L (mm)
1	3	6,3	4,6	1,06	7	30
2	3,25	6	5,25	0,89	7,5	27,5
3	3,5	5	4,6	0,52	7,2	27,5

Meskipun diameter saluran berbeda-beda, namun sebenarnya besar diameter saluran tersebut telah ditentukan SNI 7369:2008 yaitu sebesar  $7,5 \pm 0,1$  mm.

### 3.2.2 *Pressure transducer dan pressure meter*

*Pressure transducer* yang digunakan pada penelitian ini merupakan sensor tekanan dari Lutron dengan tipe PS100-2BAR. Sensor ini memiliki jangkauan maksimal tekanan 2 bar dengan resolusi 0.002 bar. Nilai keluaran *pressure transducer* tersebut menggunakan *pressure meter* Lutron dengan model PS-9302 dan dapat terhubung langsung dengan komputer menggunakan RS-232 PC *serial interface*.





Gambar 3.4 *Pressure meter* dan *pressure transducer*

### 3.2.3 Termokopel dan thermometer digital

Termokopel yang digunakan merupakan termokopel jenis K, yang terbuat dari logam Nikel dan Chromium. Sedangkan, termometer yang digunakan pada pengujian ini merupakan termometer digital *Lutron* dengan memiliki keluaran atau nilai output sebanyak 4 *channel* dan disambungkan ke komputer dengan perangkat sambungan RS-232 dengan bantuan data akuisisi.



Gambar 3.5 Termometer digital

### 3.2.4 Data Akuisisi RS-232 Converter

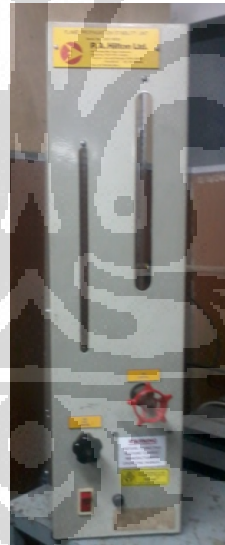
Data akuisisi RS-232 *Converter* digunakan untuk mengambil data-data yang berasal dari banyak sensor dan terhubung langsung ke komputer untuk melihat, mencatat dan merekam data-data tersebut. Kapasitas maksimum data yang dapat diambil berasal dari 8 sensor yang berbeda.



Gambar 3.6 Data akusisi RS 232 converter

### 3.2.5 Rotameter

Rotameter merupakan alat penyalur bahan bakar dan udara yang kemudian berhubungan dengan burner untuk membakar gas LPG selama penelitian dilakukan. Pada rotameter terdapat skala ketinggian tertentu yang dapat menunjukkan besarnya laju aliran yang melewati rotameter tersebut. Laju aliran yang terukur merupakan laju yang akan dibuang pada Bunsen burner dengan cara dibakar.

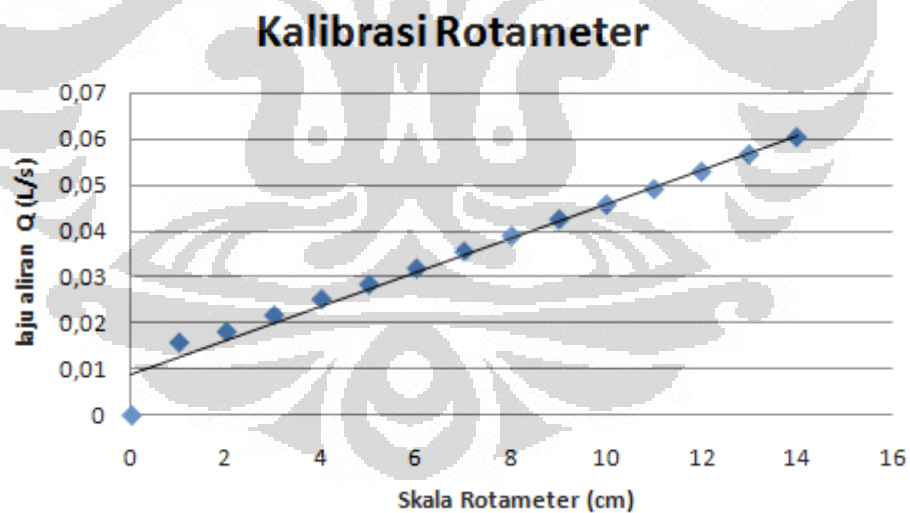


Gambar 3.7 Rotameter

Nilai laju aliran yang akurat didapatkan setelah laju aliran rotameter dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan *wet gas*. Berikut hasil kalibrasi rotameter menggunakan *wet gas*:

Tabel 3.2 Kalibrasi rotameter

skala rotameter <b>hr</b> (cm)	Laju aliran <b>Q</b> (Liter/s)
0	0
1	0,015749
2	0,018078
3	0,021638
4	0,025080
5	0,028315
6	0,031767
7	0,035414
8	0,038824
9	0,042381
10	0,045581
11	0,048928
12	0,052690
13	0,056438
14	0,060171



Gambar 3.8 Grafik hasil kalibrasi rotameter hubungan antara skala rotameter dengan laju aliran

Berdasarkan hasil kalibrasi tersebut dapat diketahui hubungan antara skala rotameter dalam cm dan laju aliran gas elpiji dengan ( $Q$ ) dalam L/s memenuhi persamaan  $Q = 0,0037hr + 0,0087$ .

### 3.2.6 Selang dan Klem

Selang digunakan sebagai penyalur gas LPG dari regulator menuju rotameter dan selanjutnya ke *bunsen burner*. Klem digunakan sebagai pengunci pada antara selang dengan keluaran regulator atau masukan *rotameter*.



Gambar 3.9 Selang dan klem

### 3.2.7 *Bunsen Burner* dan pemantik api

*Bunsen burner* merupakan kompor yang digunakan untuk membakar gas LPG selama penelitian berlangsung. Kompor ini terhubung ke rotameter yang berfungsi untuk mengatur dan menyalur gas LPG dan udara yang digunakan. Sedangkan pemantik api digunakan untuk menghasilkan api ketika menyalakan *Bunsen burner*.



Gambar 3.10 *Bunsen burner* dan pemantik api

### 3.2.8 Needle Valve

*Needle valve* digunakan untuk mengatur laju aliran yang akan digunakan untuk percobaan aliran balik pada regulator. *Needle valve* digunakan sebelum wetgas agar aliran yang mengalir menuju saluran keluar regulator dapat mengukur dan menyalurkan laju aliran pada skala kecil.



Gambar 3.11 *Needle valve*

### 3.2.9 Wetgas

*Wetgas* digunakan untuk mengukur laju aliran yang mengalir. Besarnya laju aliran yang mengalir diukur sesuai dengan banyaknya putaran jarum jam. Skala tersebut dapat dilihat pada bagian tengah *wetgas* berbentuk seperti jam manual dengan kapasitas 5 liter. Pembacaan nilai laju aliran pada *wetgas* dilakukan dengan cara mengukur waktu yang dibutuhkan jarum *wetgas* pada skala tertentu. Sebagai contoh, jika waktu yang diperlukan jarum jam mengalir dari skala 0 sampai 1 liter adalah 10 detik, maka laju aliran yang terukur adalah 1 liter/10 detik atau 0.1 liter/detik.



Gambar 3.12 *Wetgas*

### 3.2.10 Timbangan Digital

Timbangan digital yang berukuran 210 x 250 mm ini memiliki maksimal pengukuran sebesar 15 kg dengan ketelitian sebesar 0.5 gram. Spesifikasi ini cukup baik digunakan untuk pengukuran dalam eksperimen ini dengan rata-rata pengukuran berat sebesar 6 kg.



Gambar 3.13 Timbangan digital

### 3.2.11 Perangkat komputer

Komputer digunakan untuk merekam dan menyimpan data-data yang berasal dari sensor, baik sensor tekanan sesuai dengan waktu yang diperlukan selama penelitian dilakukan.



Gambar 3.14 Perangkat komputer

## 3.4 Prosedur Pengambilan Data

Prosedur pengambilan data disesuaikan untuk setiap percobaan yang berbeda, yaitu percobaan laju aliran dengan tekanan keluar regulator, percobaan unjuk kerja bola gotri pada kemiringan tabung  $90^0$  dan percobaan aliran balik

pada regulator yang bertujuan untuk mendapatkan fungsi bola gotri dalam mengatasi *back pressure* yang mungkin terjadi.

### 3.4.1 Pengujian tekanan keluar pada regulator dengan laju aliran gas LPG

Tahap eksperimen yang dilakukan pada pengujian laju aliran gas LPG dengan tekanan keluar regulator yaitu:

1. Membuat skema instalasi pengujian.
2. Mempersiapkan dan merakit alat dan bahan yang terdiri dari tabung gas berisi penuh LPG 3 kg, regulator, selang gas, *pressure transducer*, *rotameter*, termometer dan *bunsen burner*.
3. *Pressure transducer* 1 dipasang sebagai pengganti pressure gauge yang terdapat di regulator. Sedangkan *pressure transducer* 2 diletakan setelah saluran keluar regulator.
4. Kalibrasi alat ukur yang akan digunakan.
5. Mempersiapkan komputer sebagai alat rekam.
6. Regulator dipasang pada tabung gas. Termometer dipasang pada saluran keluar regulator.
7. Memeriksa kebocoran yang mungkin terjadi pada instalasi pengujian.
8. Mengalirkan gas LPG sesuai dengan ketinggian rotameter 8 cm. Rekan dan simpan data tekanan masukan, temperatur dan tekanan keluar regulator pada komputer Selama 3 menit. Catat juga besarnya perubahan massa untuk setiap 20 detik. Selama pengujian berlangsung gas LPG yang dialirkan dibakar melalui *Bunsen burner*.
9. Lakukan langkah 4-6 dengan ketinggian rotameter yang berbeda, yaitu 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, dan 26 cm.
10. Kemudian ganti alat uji regulator, dengan regulator lainnya. Sehingga langkah 4-7 dilakukan untuk 3 regulator yang berbeda.
11. Setelah langkah 8 selesai, lakukan pengujian terhadap regulator tanpa bola gotri.
12. Lakukan kembali langkah 5-8.
13. Selesai.



Gambar 3.15 Instalasi pengujian untuk percobaan hubungan laju aliran dengan tekanan keluar regulator

Percobaan kedua merupakan percobaan yang dilakukan dengan langkah-langkah yang sama seperti pada percobaan pertama. Hanya saja, percobaan kedua ini tabung gas yang digunakan dimiringkan dalam keadaan  $90^0$ . Laju aliran yang digunakan dalam penelitian dibatasi pada laju aliran maksimal yang terkecil diantara ketiga regulator. Oleh karena, regulator dengan lubang saluran keluar 3 mm ( $d_o = 3$  mm) memiliki batas laju aliran maksimal sebesar 3.3387 l/s atau skala rotameter 16 cm, maka laju aliran tersebut yang akan digunakan untuk ketiga regulator.

### 3.4.2 Pengujian aliran balik pada saluran keluar regulator

Tahap eksperimen yang dilakukan pada pengujian aliran balik pada saluran keluar regulator yaitu:

1. Membuat skema instalasi pengujian seperti pada gambar 3.16.
2. Mempersiapkan dan merakit alat dan bahan yang terdiri dari udara yang berasal dari kompresor, selang, *needle valve*, *wetgas*, *three way valve*, *pressure transducer* dan regulator. Udara akan mengalir ke bagian keluaran regulator.
3. Pasang selang yang menghubungkan kompresor dengan *wetgas*. Letakan *needle valve* diantara sambungan selang tersebut.
4. Pasang kembali selang pada keluaran *wetgas* dan disambungkan dengan salah satu cabang *three way valve*. Salah satu cabang dibiarkan bebas dan



cabang lainnya disambungkan dengan keluaran regulator melalui selang. *Three way valve* terbuka pada bagian bebas.

5. Memasang regulator di tempat yang telah disiapkan sesuai dengan instalasi pengujian.
6. Memasang *pressure transducer* diantara sambungan cabang *three way valve* dan keluaran regulator.
7. Alirkan udara dari kompresor dan mengaturnya dengan *needle valve* untuk mendapatkan aliran yang sedikit.
8. Baca putaran jarum *wetgas* sesuai dengan banyaknya udara yang dialirkan.
9. Setelah putaran *wetgas* menunjukkan kecepatan yang stabil, yaitu untuk setiap 1 liter ditempuh dalam 10 detik, kemudian buka *three way valve* menuju bagian keluar regulator.
10. Catat dan rekam tekanan sesuai dengan laju aliran yang mengalir menuju keluaran regulator.
11. Atur bukaan *needle valve* untuk mendapatkan putaran jarum *wetgas* yang bervariasi, yaitu untuk setiap 1 liter ditempuh dalam 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32 dan 34 detik.
12. Pada laju aliran tertentu tekanan yang terekam *pressure transducer* akan meningkat secara cepat menandakan bola gotri menutup akibat *back pressure*. Waktu yang terekam saat tekanan naik akan menunjukkan kecepatan bola gotri menutup akibat *back pressure*.
13. Lakukan pengujian selanjutnya untuk regulator yang berbeda. Sehingga langkah 5-11 dilakukan untuk 3 regulator yang berbeda.
14. Setelah langkah 13 selesai, lakukan pengujian langkah 5-11 kembali dengan keadaan bola gotri masing-masing regulator telah dilepas.

Skema pengujian bola gotri sebagai anti aliran balik atau ball check valve dapat dilihat pada gambar 3.16.



Gambar 3.16 Instalasi pengujian untuk percobaan aliran balik pada regulator

## **BAB 4**

### **PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA**

#### **4.1 Hasil dan Analisa Eksperimen**

Pengujian kajian bola gotri pada regulator dilakukan di Laboratorium Termodinamik *Flame & Combustion Research*, Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia. Pengujian yang telah dilakukan berkaitan dengan mencari hubungan antara laju aliran dengan tekanan keluar regulator dan pengujian antara hubungan waktu penutupan bola gotri dengan laju aliran bali atau *reverse flow*.

Pengujian dilakukan terhadap berbagai regulator dengan pengaman bola gotri yang terdapat pada saluran keluar regulatornya. Hasil eksperimen ini diharapkan dapat mengetahui fungsi bola gotri tersebut pada regulator tersebut.

##### **4.1.1 Pengujian Laju Aliran dengan Tekanan Keluar Regulator**

Pengujian laju aliran dengan tekanan keluar regulator dimaksudkan untuk melihat pengaruh keberadaan bola gotri terhadap tekanan keluar regulator berdasarkan variasi laju aliran gas LPG yang melewati regulator. Data yang didapat berupa tekanan keluar regulator, temperatur dan tekanan awal aliran LPG yang masuk ke regulator. Temperatur diperoleh untuk mendapatkan densitas LPG untuk proses perhitungan. Sedangkan tekanan masuk regulator diketahui untuk mengetahui batas tekanan masuk yang diinginkan.

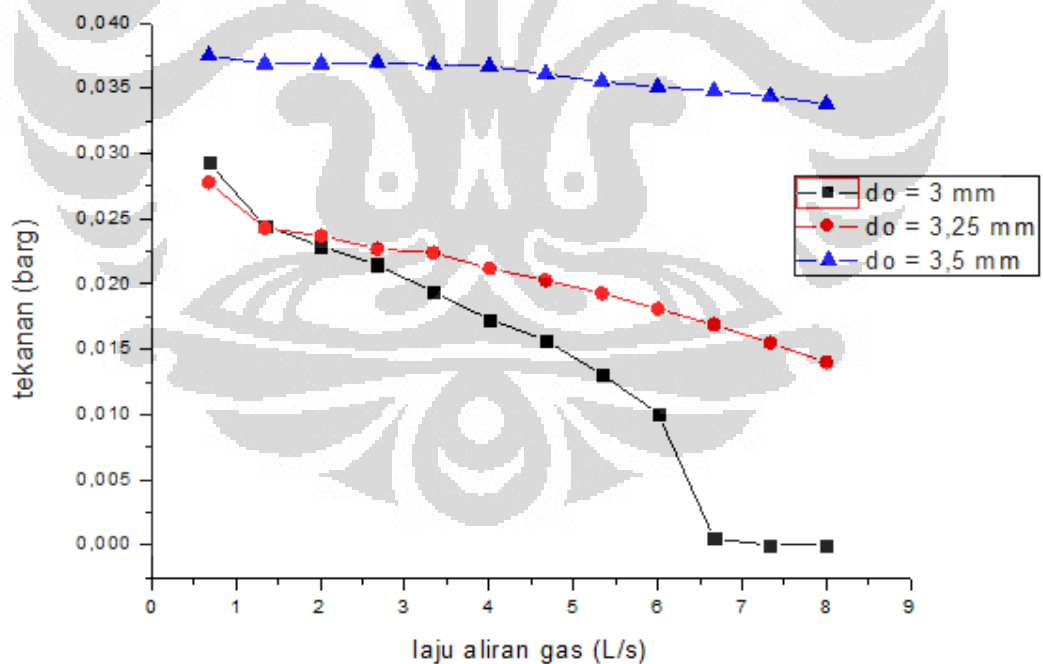
Pengujian dilakukan dengan cara melihat hubungan antara laju aliran dengan tekanan keluar beberapa regulator baik dengan bola gotri maupun tanpa bola gotri. Perlu diketahui bahwa laju aliran yang dimaksud merupakan laju aliran yang mendekati kompor atau *Bunsen burner*. Sehingga, untuk mengetahui keadaan gas pada regulator digunakan laju aliran massa yang diukur selama pengujian.

Berdasarkan pengujian tersebut, maka performasi atau kestabilan beberapa regulator tersebut dan besarnya laju aliran massa yaitu :

a. Hasil pengujian hubungan laju aliran dengan tekanan keluar regulator dengan bola gotri.

Tabel 4.1 Hasil pengujian laju aliran dengan tekanan keluar regulator dengan bola gotri

Laju aliran gas (L/s)	Tekanan keluar regulator (bar)		
	do = 3 mm	do = 3,25 mm	do = 3,5 mm
0,6747	0,0293	0,0278	0,0375
1,3407	0,0245	0,0243	0,0369
2,0067	0,0229	0,0237	0,0369
2,6727	0,0215	0,0227	0,0370
3,3387	0,0194	0,0224	0,0368
4,0047	0,0173	0,0212	0,0367
4,6707	0,0157	0,0203	0,0361
5,3367	0,0131	0,0193	0,0355
6,0027	0,0101	0,0181	0,0351
6,6687	0,0005	0,0169	0,0348
7,3347	0,0000	0,0155	0,0344
8,0007	0,0000	0,0140	0,0338



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara laju aliran dengan tekanan keluar regulator dengan bola gotri pada saluran keluarnya

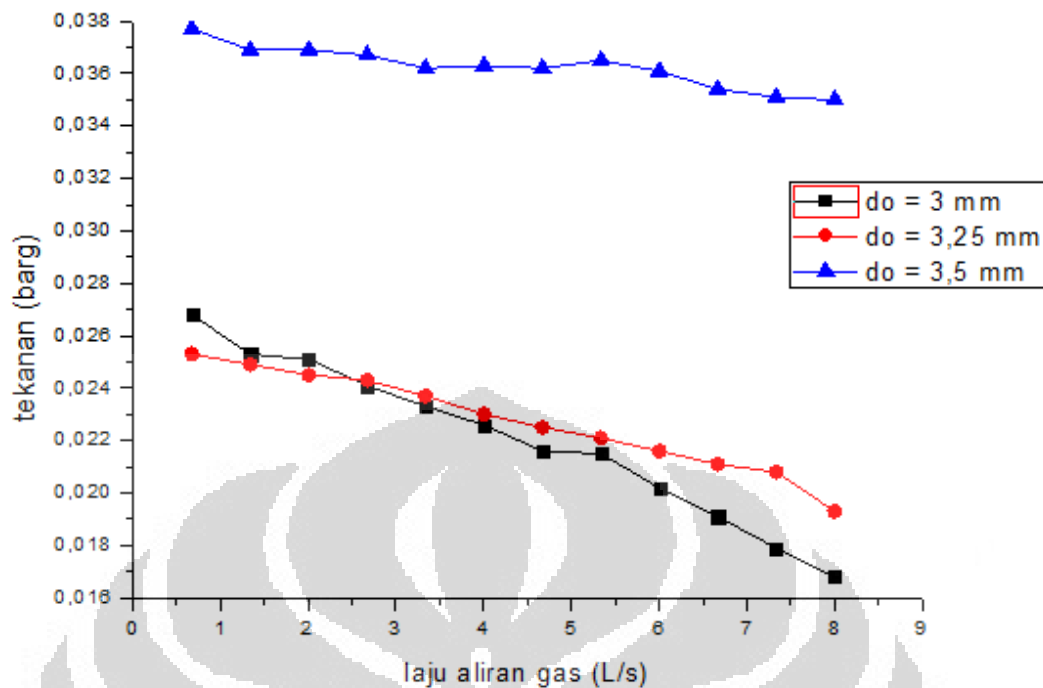
Berdasarkan hasil pengujian terhadap beberapa regulator dengan bola gotri, dapat disimpulkan regulator dengan diameter lubang keluar 3 mm ( $do = 3$  mm)

mengalami *lock up* pada laju aliran 7,3347 l/s. Hal tersebut mempengaruhi pula oleh performa atau tekanan regulator tersebut yang terus turun dari keadaan stabilnya, yaitu 0,0293 bar pada laju aliran 0,6747. Sedangkan untuk tekanan pada regulator dengan diameter lubang keluar 3,25 mm ( $d_o = 3,25$  mm) memiliki lubang keluar sebesar 0,0278 bar pada laju aliran 0,6747 l/s dan mengalami penurunan seiring dengan penambahan laju aliran menjadi sebesar 0,0140 bar pada laju aliran 8,007 l/s. regulator dengan diameter lubang keluar 3,5 mm ( $d_o = 3,5$  mm) memiliki tekanan keluar sebesar 0,0375 bar dan mengalami penurunan menjadi 0,0338 bar selama laju aliran 0,6747 l/s menjadi 8,007 l/s. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa regulator  $d_o = 3,5$  mm memiliki nilai tekanan keluar regulator yang lebih besar pada laju aliran berapapun.

**b. Hasil pengujian hubungan laju aliran dengan tekanan keluar regulator tanpa bola gotri.**

Tabel 4.2 Hasil pengujian laju aliran dengan tekanan keluar regulator tanpa bola gotri

Laju aliran gas (L/s)	Tekanan keluar regulator (bar)		
	$d_o = 3$ mm	$d_o = 3,25$ mm	$d_o = 3,5$ mm
0,6747	0,0268	0,0253	0,0377
1,3407	0,0253	0,0249	0,0369
2,0067	0,0251	0,0245	0,0369
2,6727	0,0241	0,0243	0,0367
3,3387	0,0233	0,0237	0,0362
4,0047	0,0226	0,0230	0,0363
4,6707	0,0216	0,0225	0,0362
5,3367	0,0215	0,0221	0,0365
6,0027	0,0202	0,0216	0,0361
6,6687	0,0191	0,0211	0,0354
7,3347	0,0179	0,0208	0,0351
8,0007	0,0168	0,0193	0,0350



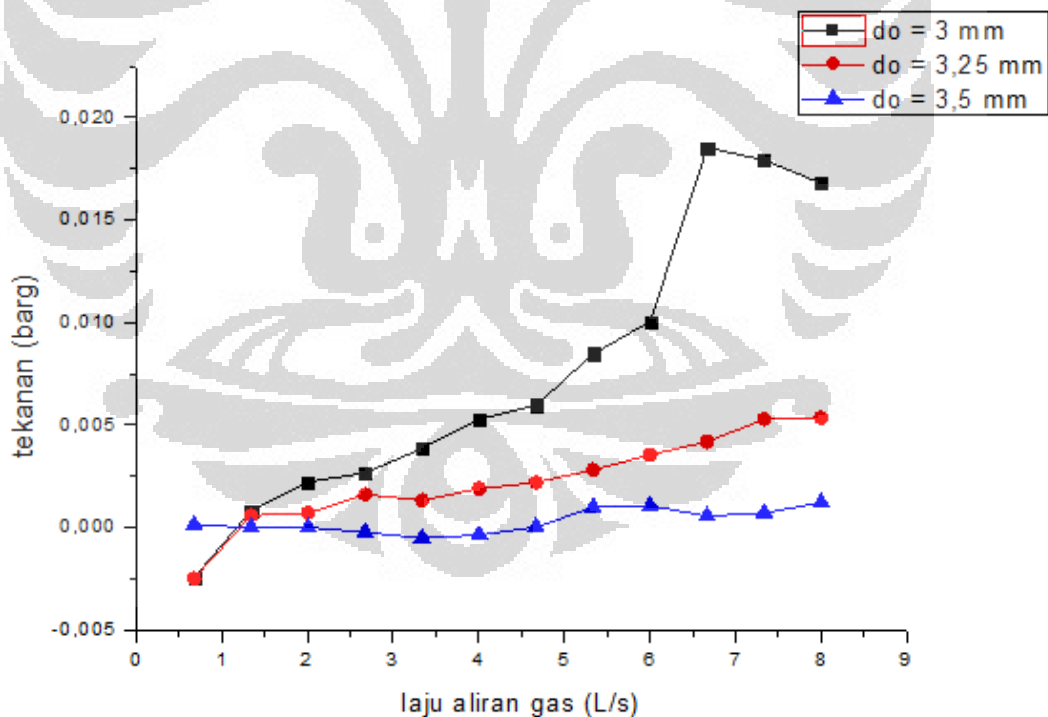
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara laju aliran dengan tekanan keluar pada regulator tanpa bola gotri pada saluran keluaranya

Berdasarkan pengujian hubungan laju aliran dengan tekanan keluar regulator tanpa bola gotri, dapat dilihat bahwa penurunan tekanan keluar berbanding laju aliran yang meningkat tidak sebesar penurunan tekanan yang terjadi ketika pengujian dengan bola gotri. Pada pengujian kedua ini, regulator  $do = 3$  mm tidak mengalami lock up dengan tekanan keluar sebesar 0,0268 bar pada laju aliran 0,6747 l/s dan tekanan 0,0168 bar pada laju aliran sebesar 8,007 l/s. Sedangkan untuk regulator  $do = 3,25$  mm, memiliki tekanan keluar 0,0253 bar dan 0,0193 bar untuk laju aliran minimum dan laju aliran maksimum selama pengujian berlangsung.

Hubungan antara laju aliran dengan tekanan keluar pada regulator dengan dan tanpa bola gotri diatas dapat dibuatkan grafik antara laju aliran dan perbedaan tekanan aliran pada daerah sebelum bola gotri dan sesudah bola gotri seperti pada gambar di bawah ini,

Tabel 4.3 Perbedaan tekanan keluar regulator ( $\Delta p$ ) pada keluaran regulator dengan dan tanpa bola gotri

Laju aliran gas (L/s)	Perbedaan tekanan keluar regulator $\Delta p$ (barg)		
	do = 3 mm	do = 3,25 mm	do = 3,5 mm
0,6747	-0,00243	-0,00250	0,00012
1,3407	0,00080	0,00059	0,00000
2,0067	0,00222	0,00071	0,00000
2,6727	0,00266	0,00161	-0,00023
3,3387	0,00386	0,00132	-0,00052
4,0047	0,00529	0,00189	-0,00037
4,6707	0,00596	0,00220	0,00002
5,3367	0,00848	0,00281	0,00098
6,0027	0,01004	0,00354	0,00106
6,6687	0,01853	0,00419	0,00056
7,3347	0,01793	0,00528	0,00070
8,0007	0,01679	0,00536	0,00122



Gambar 4.3 Hubungan antara laju aliran dengan perbedaan tekanan pada daerah sebelum dan sesudah bola gotri

Berdasarkan hasil pengujian hubungan antara laju aliran dengan tekanan keluar regulator, dapat dilihat bahwa regulator dengan diameter lubang keluar 3,5

mm ( $d_o = 3,5$  mm) lebih stabil dibandingkan dengan kedua regulator lainnya. Kemudian, diikuti dengan regulator  $d_o = 3,25$  mm. Regulator dengan kestabilan yang buruk ialah regulator dengan diameter lubang keluar 3 mm. Hal ini dilihat dari tekanan keluar yang dihasilkan berbanding dengan laju alirannya. Regulator dengan kestabilan yang baik akan menunjukkan nilai tekanan keluar regulator yang konstan pada berbagai laju aliran.

Pada dasarnya, sesuai dengan dasar teori sebelumnya, kestabilan suatu regulator dipengaruhi oleh pegas, diafragma dan badan regulator tersebut. Namun, berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, bola gotri juga membawa pengaruh terhadap kestabilan regulator. Hal ini dapat dilihat pada grafik 4.1, 4.2 dan 4.3. Tekanan keluar pada regulator dengan bola gotri dan tanpa bola gotri memiliki perbedaan nilai yang ditunjukkan pada gambar 4.3.

Lebih jauh, pada salah satu regulator, yaitu regulator dengan diameter lubang keluar 3 mm, laju aliran yang tinggi menyebabkan bola gotri menutup saluran regulator yang ada dan menyebabkan regulator *lock up*. Sehingga tidak ada laju aliran gas LPG dan api kompor langsung padam. Keadaan ini terjadi ketika laju aliran gas berkisar pada 7,3 liter/sekon. Hal ini juga diperkuat dengan pengujian regulator tanpa bola gotri yang tidak menimbulkan efek regulator *lock up* pada laju aliran yang tinggi.

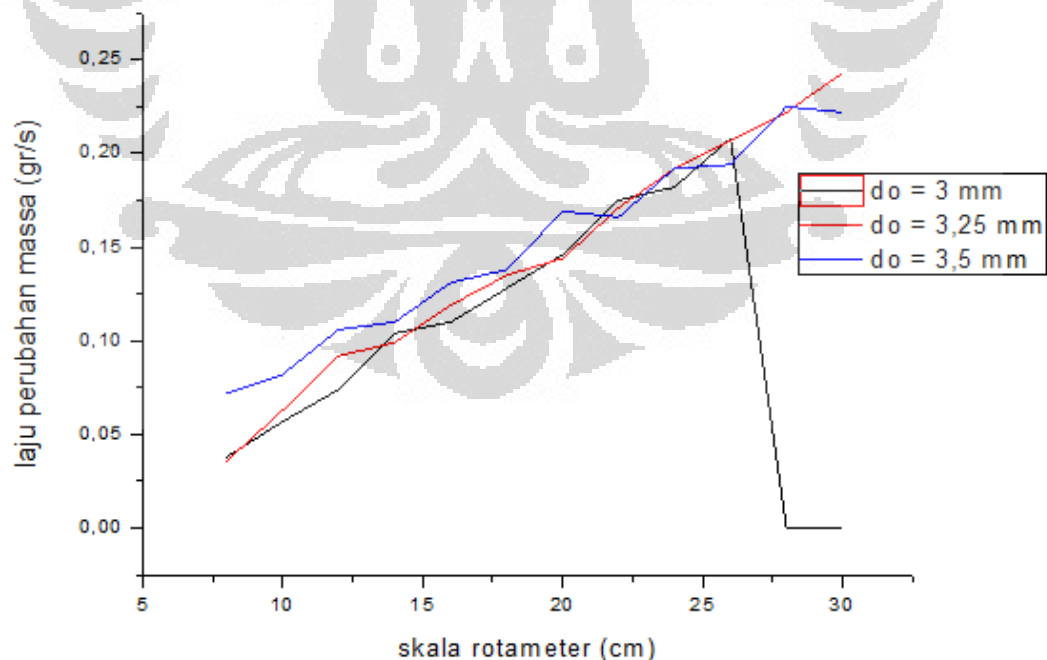
Peristiwa regulator *lock up* ketika kompor sedang digunakan dapat menyusahkan masyarakat pada umumnya. Hal ini dikarenakan untuk menyalakan kompor kembali, masyarakat perlu mengembalikan bola gotri pada keadaan semula dengan cara membuka regulator dari badan tabung gas LPG dan mengoyangkan-goyangkan badan regulator yang bertujuan untuk melepaskan bola gotri jika bola tersebut menempel pada saluran keluar regulator.



Sedangkan untuk laju aliran massa yang terukur selama proses pengujian berlangsung, yaitu:

Tabel 4.4 Hubungan antara skala rotameter dengan laju aliran massa yang terukur

skala rotameter (cm)	Laju perubahan massa (gram/detik)		
	do = 3 mm	do = 3.25 mm	do = 3.5 mm
8	0,038	0,036	0,072
10	0,057	0,063	0,082
12	0,074	0,092	0,106
14	0,104	0,099	0,110
16	0,110	0,119	0,131
18	0,128	0,135	0,138
20	0,146	0,144	0,169
22	0,175	0,171	0,166
24	0,182	0,192	0,192
26	0,208	0,207	0,194
28	0,000	0,222	0,225
30	0,000	0,243	0,222



Gambar 4.4 Grafik laju perubahan massa yang terukur pada timbangan digital berbanding dengan skala rotameter

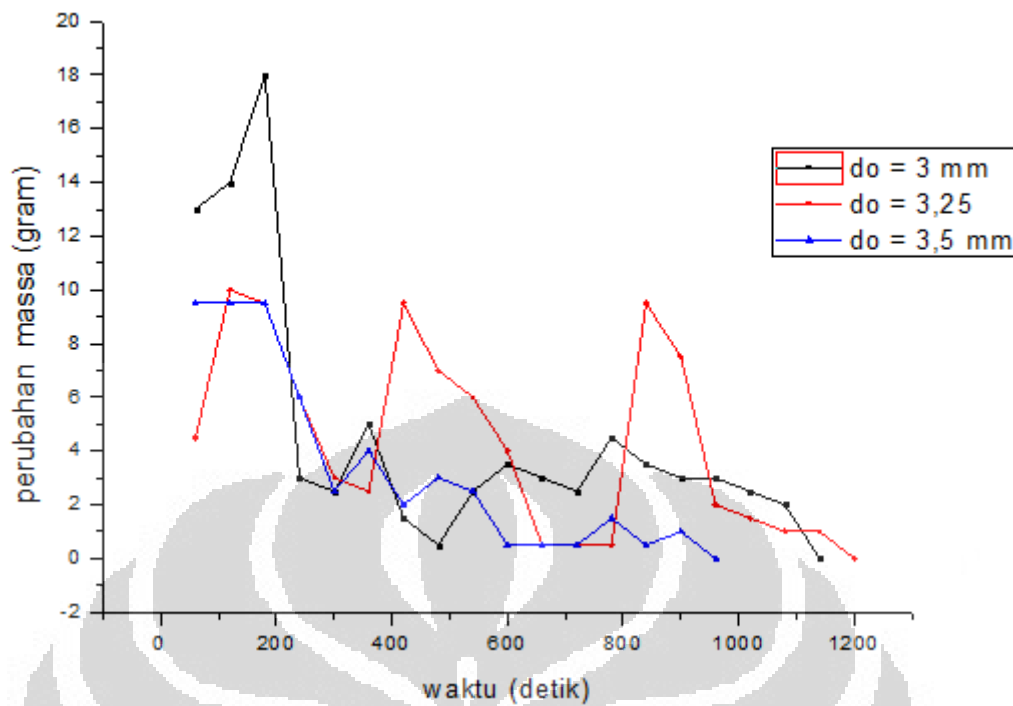
#### 4.1.2 Pengujian hubungan antara waktu, laju aliran dan tekanan regulator pada kemiringan tabung $90^0$ .

Percobaan kedua merupakan percobaan yang dilakukan dengan langkah-langkah yang sama seperti pada percobaan pertama. Hanya saja, percobaan kedua ini tabung gas yang digunakan dimiringkan dalam keadaan  $90^0$ . Laju aliran yang digunakan dalam penelitian dibatasi pada laju aliran maksimal sebelum regulator tersebut *lock up* diantara ketiga regulator. Oleh karena regulator dengan lubang saluran keluar 3 mm ( $d_o = 3$  mm) memiliki batas laju aliran maksimal sebesar 3.3387 l/s atau skala rotameter 16 cm, maka laju aliran tersebut yang akan digunakan untuk ketiga regulator.

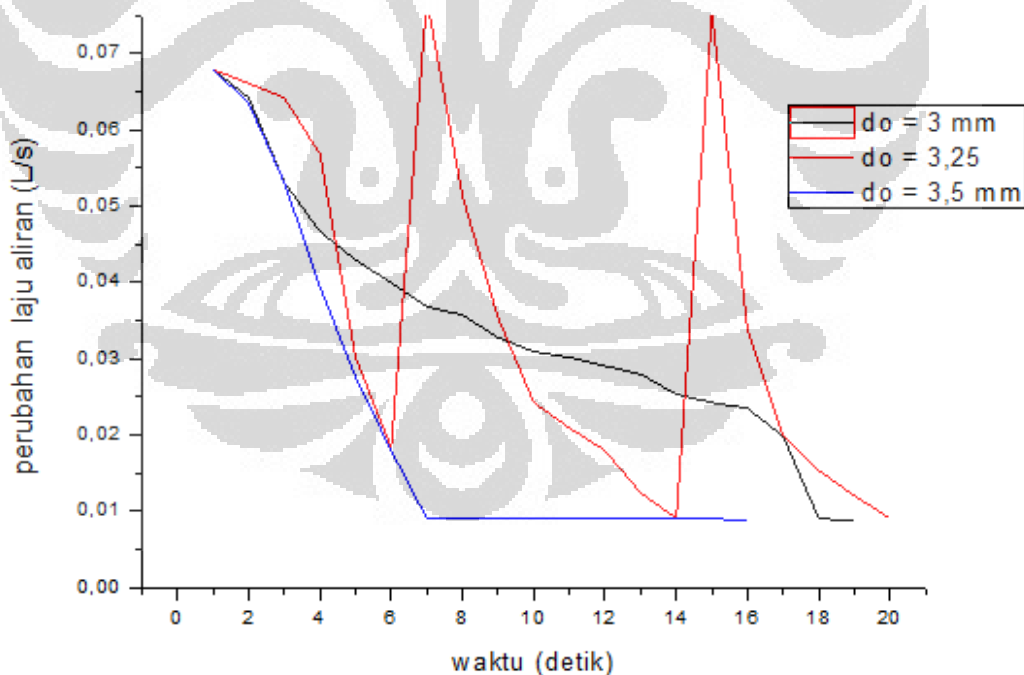
Hasil percobaan pada kemiringan tabung  $90^0$  menunjukkan, pada regulator  $d_o = 3$  mm, api akan padam setelah 19 menit. Selama waktu tersebut, perubahan massa akan naik turun meskipun menunjukkan nilai yang semakin turun. Sedangkan laju aliran menunjukkan nilai yang terus turun.

Berbeda dengan regulator  $d_o = 3,25$  mm yang akan menunjukkan perubahan massa naik turun dengan nilai yang cukup stabil, meskipun pada menit ke 21 api padam, namun, akan ada aliran gas LPG naik hingga 0,07 L/s tanpa api. Perubahan laju aliran juga memiliki nilai yang naik turun.

Regulator  $d_o = 3,5$  mm menunjukkan hal yang sama dengan regulator  $d_o = 3$  mm, dimana, api akan padam tanpa diikuti dengan kenaikan aliran LPG kembali. Namun, waktu yang diperlukan agar api padam hanya sekitar 16 menit. Bahkan, pada detik ke-7 api laju aliran volume yang menuju *Bunsen burner*, hanya sekitar 0,1 L/s hingga api tersebut padam. Selama api menyala hingga padam, perubahan massa yang terjadi semakin rendah. Grafik yang menunjukkan perubahan massa dan laju aliran volume gas LPG pada ketiga regulator ketika kemiringan  $90^0$  ditunjukkan oleh gambar 4.5 dan 4.6.



Gambar 4.5 Hubungan antara waktu dan perubahan massa pada kemiringan tabung  $90^0$



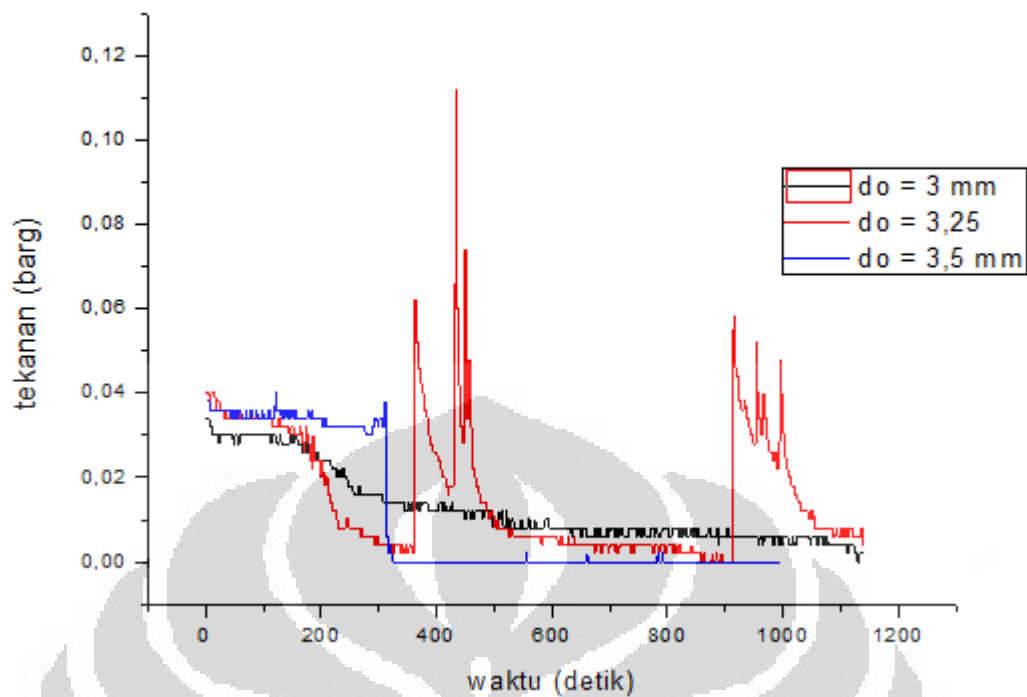
Gambar 4.6 Hubungan antara waktu dengan laju aliran volume pada kemiringan tabung  $90^0$

Perbedaan nilai perubahan massa dan laju aliran regulator  $do = 3,25$  mm dengan regulator  $do = 3$  mm dan  $do = 3,5$  mm dikarenakan oleh tekanan keluar regulator yang ditunjukkan oleh regulator tersebut. Pada regulator  $do = 3$  mm dan

3,5 mm, tekanan keluar berada dalam batas spesifikasinya, yaitu dibawah 0,04 bar. Pada regulator  $d_o = 3$  mm, tekanan keluar yang terukur terus menurun sampai akhirnya api tersebut padam yang menandakan bola gotri pada regulator tertutup dan menyebabkan *lock up* pada regulator. Sedangkan pada regulator  $d_o = 3,5$  mm, tekanan keluar akan langsung menunjukkan nilai 0 bar setelah menit ke 5. Meskipun api tidak akan langsung padam. Pada dasarnya, api yang masih menyala pada keadaan tekanan keluar 0 bar ini menunjukkan bahwa regulator sebenarnya sudah menutup atau *lock up*. Namun, masih ada sisa-sisa gas LPG yang terperangkap pada selang. Meskipun begitu, seharusnya tidak ada perubahan massa yang terjadi. Perubahan massa yang terukur menunjukkan adanya *error* akibat pengaruh angin pada timbangan ataupun hal lainnya.

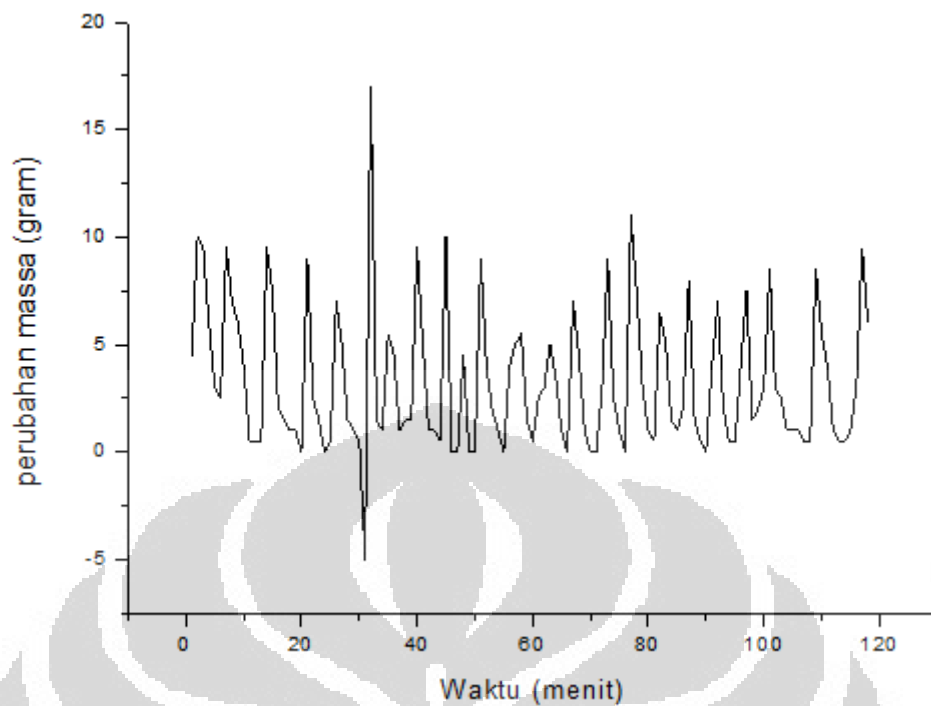
Perbedaan yang sangat mencolok terjadi pada regulator  $d_o = 3, 25$  mm, dimana setelah api padam akan ada aliran LPG yang mengalir menuju *Bunsen burner*. Pada saat api padam, nilai tekanan keluar akan menunjukkan nilai terendahnya hingga 0 bar, kemudian tak beberapa lama tekanan keluar akan menunjukkan nilai yang melebihi batas keluaran regulator tersebut, yaitu hingga mencapai nilai 0,1 bar diikuti dengan aliran gas LPG yang tidak terbakar. Keadaan ini akan berulang, dimana tekanan keluar yang tinggi akan turun dan tiba-tiba akan naik kembali, bahkan setelah 2 jam proses percobaan dilakukan. Hal ini menunjukkan bahwa regulator  $d_o = 3,25$  mm tidak dapat menahan aliran liquid yang melewati regulator tersebut dan membatasi tekanan keluar regulator sesuai dengan batasannya, ketika aliran multiphase terjadi. Hal ini juga dibuktikan dengan tidak adanya *lock up* pada regulator, baik yang disebabkan oleh bola gotri maupun membran regulator tersebut.

Grafik yang menunjukkan perbedaan tekanan keluar antara regulator  $d_o = 3$  mm,  $d_o = 3,25$  mm dan  $d_o = 3,5$  mm ditunjukkan oleh gambar 4.7. Khusus untuk regulator  $d_o = 3, 25$  dengan fenomena aliran gas LPG pada kemiringan tabung  $90^\circ$  akan diperlihatkan lebih lanjut.

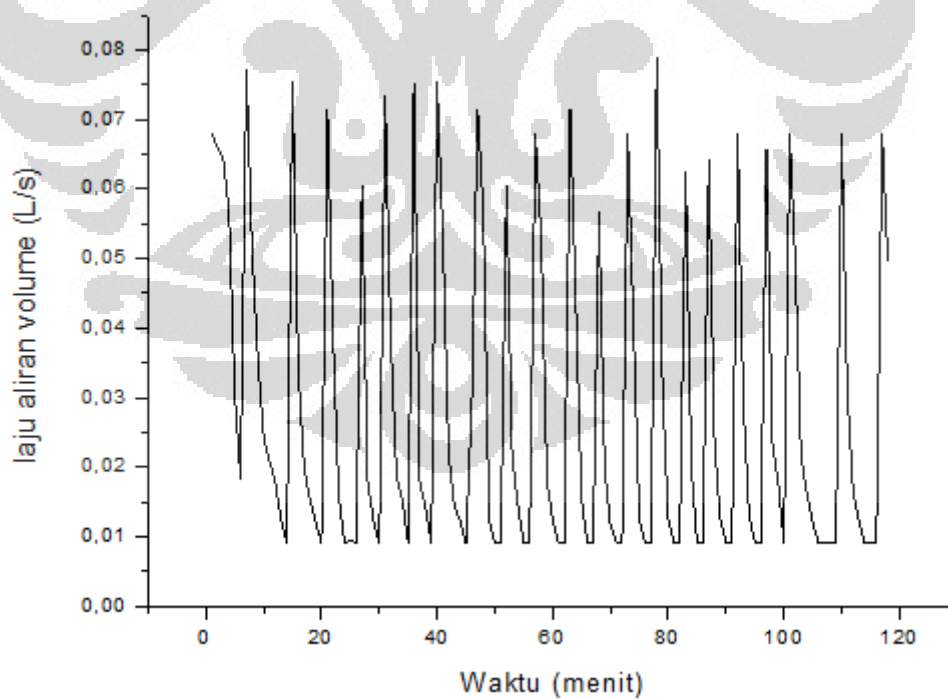


Gambar 4.7 Hubungan antara waktu dan tekanan keluar regulator pada kemiringan tabung  $90^0$

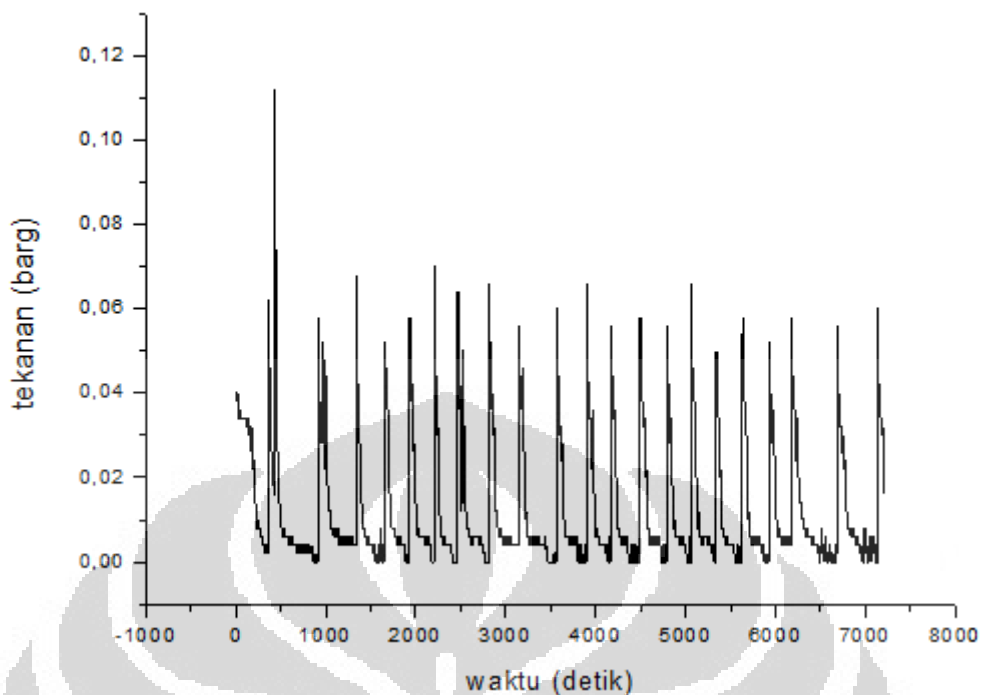
Keanehan terjadi pada regulator  $do = 3,25$  mm, dimana perubahan massa dan laju aliran menunjukkan nilai yang naik turun sebanding dengan tekanan keluar yang terukur *pressure transducer* yang dapat mencapai maksimum melebihi batas tekanan keluar regulator seharusnya. Meskipun tekanan maksimum hingga 0,1 bar terjadi pada menit-menit awal dan selanjutnya tekanan keluar tidak akan melebihi jauh dari batasan tekanan keluar regulator seharusnya. Keadaan ini terjadi hingga percobaan mencapai 2 jam. Gambar 4.8, 4.9, dan 4.10 menunjukkan perubahan massa, laju aliran dan tekanan keluar yang terukur pada regulator  $do = 3,25$  mm berturut-turut. Hal ini menunjukkan adanya evaporasi fase cairan, ketika aliran multifase uap-cairan memasuki regulator  $do = 3,25$  mm.



Gambar 4.8 Hubungan antara waktu dan perubahan massa yang terjadi pada regulator  $d_o = 3,25$  mm selama 2 jam



Gambar 4.9 Hubungan antara waktu dan laju aliran volume yang terukur *Rotameter* pada regulator  $d_o = 3,25$  mm selama 2 jam



Gambar 4.10 Hubungan antara waktu dan tekanan yang terukur *Rotameter* pada regulator  $d_o = 3,25$  mm selama 2 jam

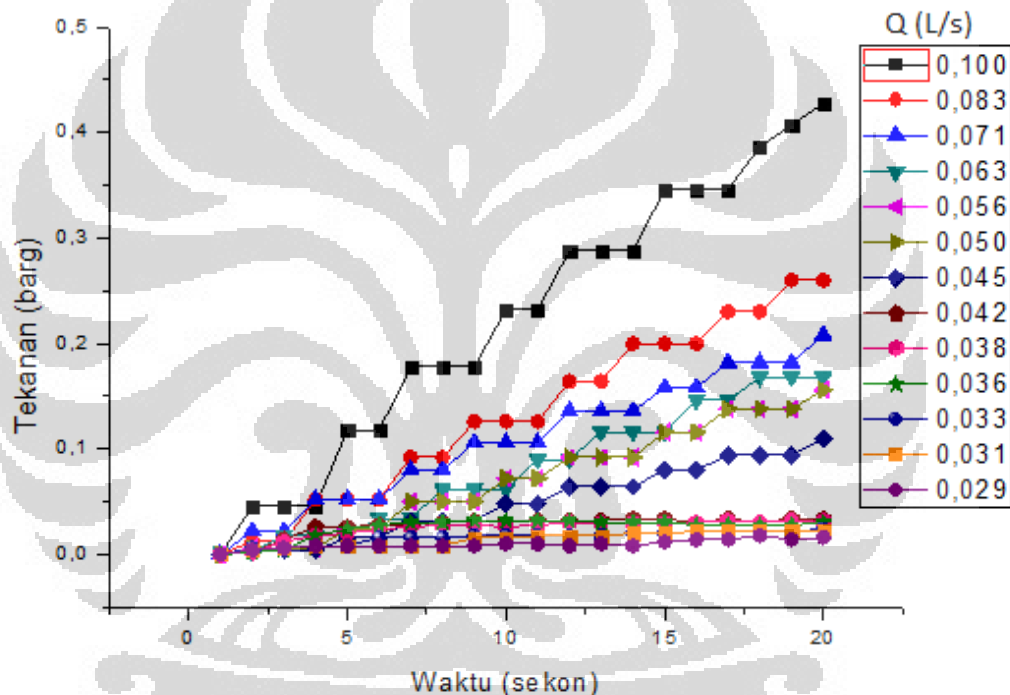
#### 4.1.3 Pengujian Hubungan Waktu dengan Laju Aliran Balik

Pengujian hubungan waktu dengan laju aliran balik dapat dibuat dalam bentuk grafik antara tekanan yang terukur pada bagian selang penyalur udara dan saluran keluar regulator dibandingkan dengan waktu yang dibutuhkan tekanan tersebut naik. Tekanan yang naik menunjukkan adanya aliran yang tersumbat. Hal ini menandakan bola gotri telah menutup mengatasi aliran balik yang terjadi (*backpressure*).

Pengujian dilakukan terhadap tiga regulator yang berbeda, yaitu regulator  $d_o = 3$  mm,  $d_o = 3,26$  mm, dan  $d_o = 3,5$  mm. Hasil pengujian menunjukkan waktu penutupan bola gotri pada ketiga regulator memiliki nilai yang berbeda. Laju aliran yang diberikan berkisar pada  $0,029 - 0,1$  L/s.

**a. Hasil pengujian pada regulator dengan diameter lubang keluar 3 mm (do = 3 mm)**

Pengujian aliran balik pada regulator do = 3 mm menunjukkan bahwa pada laju aliran 0,033 l/s bola gotri sudah menutup, dengan waktu sekitar  $\pm 3$  detik. Sedangkan untuk laju aliran yang lebih besar dari itu, tekanan akan segera naik. Batas tekanan tersebut adalah sebesar 0,036 barg. Hal ini menunjukkan bola gotri dapat menahan aliran balik cukup cepat. Grafik yang menunjukkan antara waktu dan besarnya tekanan keluar pada regulator do = 3 mm ini ditunjukkan pada gambar 4.5



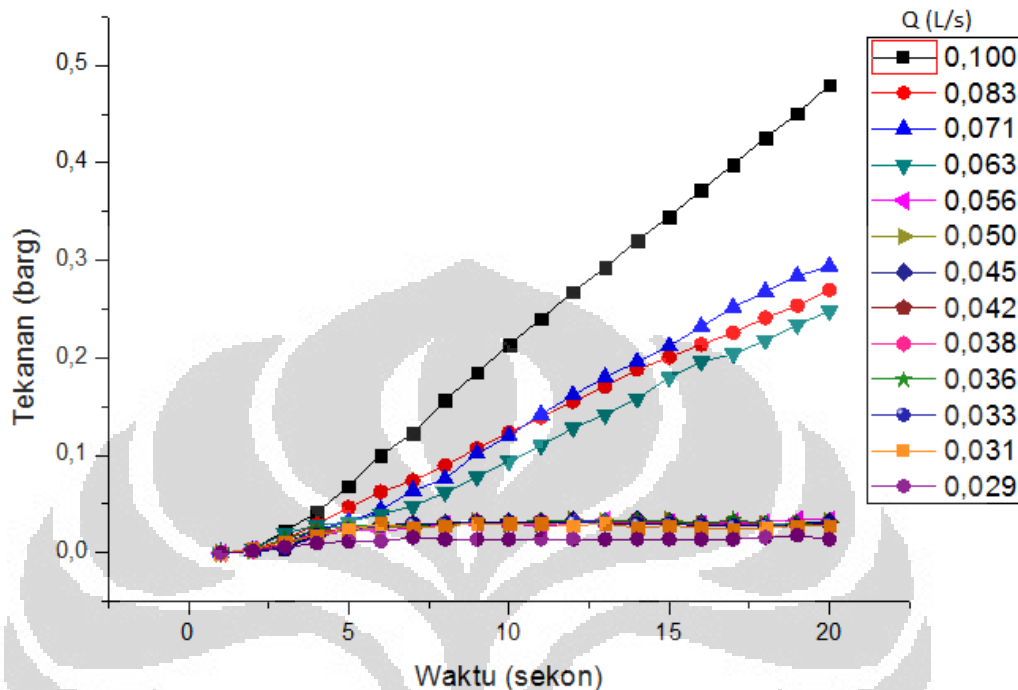
Gambar 4.11 Grafik hubungan antara waktu dengan kenaikan tekanan aliran balik dalam berbagai variasi laju aliran pada regulator do = 3 mm

**b. Hasil pengujian pada regulator dengan diameter lubang keluar 3,25 mm (do = 3,25 mm)**

Berdasarkan hasil pengujian aliran balik pada regulator do = 3,25 mm, terlihat bahwa pada aliran 0,063 l/s dengan tekanan 0,036 barg, bola gotri baru mulai menutup dengan selang waktu sekitar  $\pm 4$  sekon. Waktu yang dibutuhkan akan semakin kecil, pada laju aliran yang tinggi. Seperti ditunjukkan pada laju aliran 0,1 l/s, dimana bola gotri akan menutup pada rentang waktu  $\pm 3$  sekon. Hal



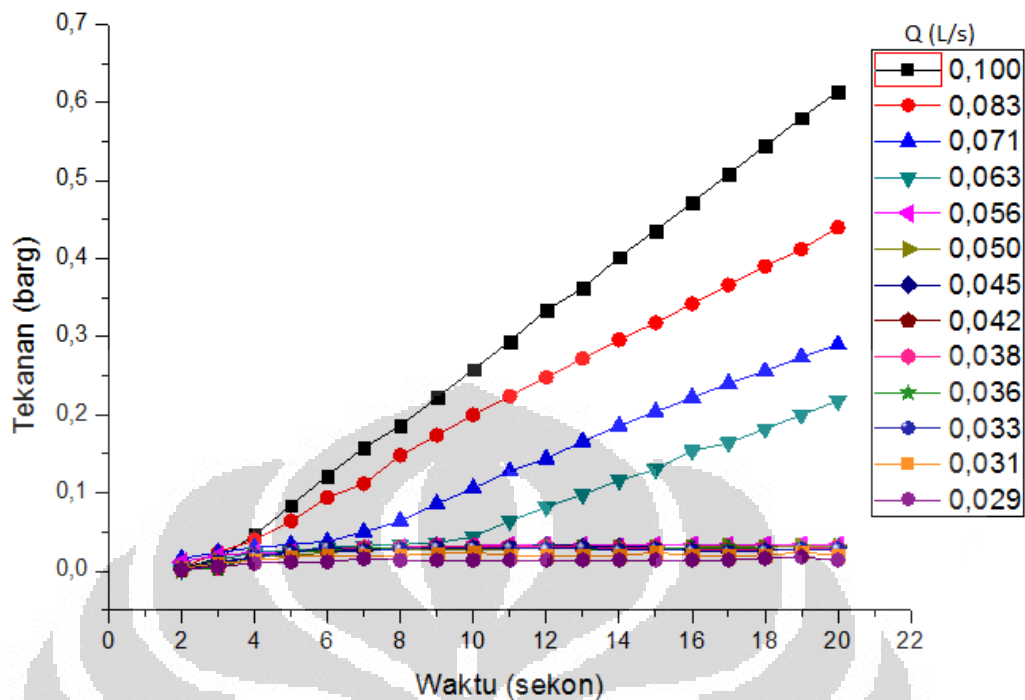
ini menunjukkan bahwa regulator  $d_o = 3,25$  mm lebih lambat menutup dibandingkan dengan regulator 3 mm. Hal ini ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.12 Grafik hubungan antara waktu dengan kenaikan tekanan aliran balik dalam berbagai variasi laju aliran pada regulator  $d_o = 3,25$  mm

**c. Hasil pengujian pada regulator dengan diameter lubang keluar 3,5 mm ( $d_o = 3,5$  mm)**

Berdasarkan hasil pengujian pada regulator dengan diameter lubang keluar 3,5 mm, terlihat bahwa pada laju aliran 0,063 bola gotri mulai menutup dalam selang waktu  $\pm 9$  sekon, diikuti dengan laju aliran 0,071 l/s dengan waktu sekitar  $\pm 5$  sekon, 0,083 l/s dengan waktu sekitar  $\pm 4$  sekon, dan 0,1 l/s sekitar  $\pm 3$  sekon. Batas tekanan penutupan adalah 0,034 barg. Hal ini menunjukkan bahwa regulator  $d_o = 3,5$  mm, memiliki kecepatan penutupan bola yang lebih lambat dibandingkan dengan regulator lainnya. Meskipun waktu tersebut akan bervariasi pada laju aliran yang berbeda. Profil waktu, tekanan, dan laju aliran pada pengujian aliran balik regulator 3,5 mm tersebut terlihat pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Grafik hubungan antara waktu dengan kenaikan tekanan aliran balik dalam berbagai variasi laju aliran pada regulator  $d_o = 3,5$  mm

Berdasarkan ketiga pengujian diatas dapat disimpulkan bahwa regulator  $d_o = 3$  mm, bola gotri yang terdapat pada bagian keluarannya dapat menutup lebih cepat dibandingkan dengan bola gotri jenis regulator yang lain. Bola gotri tersebut menutup pada tekanan sekitar 0,034-0,036 barg atau ketika laju aliran yang diberikan sekitar 0,033 l/s. Hasil yang telah didapat dapat dianalisa secara nondimensional,  $d_g/D_s$ , dimana  $d_g$  merupakan diameter bola gotri sedangkan  $D_s$  merupakan diameter saluran pada setiap regulator. Regulator dengan diameter lubang keluaran  $d_o = 3$  mm,  $d_o = 3,25$  mm, dan  $d_o = 3,5$  mm memiliki persamaan dengan  $d_g/D_s = 0,9$ ,  $d_g/D_s = 0,8$  dan  $d_g/D_s = 0,7$  secara berturut-turut.

Batas tekanan penutupan bola gotri  $d_o = 3$  mm dan  $d_o = 3,25$  mm adalah sebesar 0,036 barg. Sedangkan, batas tekanan penutupan bola gotri  $d_o = 3,5$  mm ialah sebesar 0,034 barg. Waktu penutupan pada batas tekanan tersebut dapat dicari dengan cara interpolasi kubik *spline* sesuai dengan grafik 4.11, 4.12, dan 4.13. Besarnya waktu tekanan tersebut dapat dilihat dalam tabel berikut ini:

Tabel 4.5 Waktu penutupan bola gotri pada regulator pada pengujian aliran balik

Laju aliran (L/s)	Waktu penutupan regulator		
	do = 3 mm	do = 3,25 mm	do = 3,5 mm
0,1	0,67	3,29	3,11
0,083	5,03	4,02	3,85
0,071	5,14	5,47	5,88
0,063	6,31	5,68	7,80
0,056	7,26	-	-
0,05	7,26	-	-

Meskipun begitu, waktu penutupan bola gotri berdasarkan kenaikan tekanan tidak dapat diasumsikan sebagai hasil yang akurat, dikarenakan adanya pengaruh kompresibilitas udara dan respon sistem di sepanjang alat uji. Hal ini dikarenakan adanya jarak antara *pressure transducer* yang mengukur kenaikan tekanan dengan saluran keluar regulator atau tempat penutupan bola gotri tersebut. Sehingga perlu adanya pengujian dengan alat uji yang lebih akurat dan sensitif.

#### 4.2 Hasil dan Analisa Perhitungan

Berdasarkan eksperimen pengujian laju aliran dan tekanan keluar regulator yang terukur, yang dilakukan pada ketiga regulator, nilai gaya *Drag* atau gaya seret yang terjadi dapat dihitung secara analisis. Sebagai contoh, perhitungan pada regulator do = 3 mm, pada skala rotameter 8 cm atau 0,6747 L/s dengan laju aliran massa yang terukur ialah 0,038 gr/s. Tekanan keluar (P2) dan temperatur yang terukur pada daerah sebelum bola gotri adalah 0,0268 barg dan 28,12 °C.

##### Contoh Perhitungan :

##### Diketahui regulator 1

$$d_o = 3 \text{ mm} = 0,003 \text{ m}$$

$$D_s = 6,3 \text{ mm} = 0,0063 \text{ m}$$

Sehingga, luas permukaan lubang masuk,

$$A_i = \pi d_i^2 / 4 = (3,14)(0,0063^2) / 4 = 3,11\text{E-}05 \text{ m}^2$$

$$d_g = 6,3 \text{ mm} = 0,0063 \text{ m}$$

$$R = 0,00315 \text{ mm}$$

Luas permukaan kontak bola gotri sesuai dengan luas penampang bola tersebut, yaitu :

$$A_g = \pi d_i^2 / 4 = (3,14)(0,0063^2) / 4 = 3,116E-05 \text{ m}^2$$

$$\dot{m} = 0,038 \text{ gr/s}$$

$$P_2 = 0,0268 \text{ barg} = 1,0308 \text{ bara}$$

(tekanan atmosfer pada lingkungan saat itu adalah 1,004 bar)

$$T = 28,12^\circ\text{C}$$

Kemudian, setelah diolah menggunakan *software REFPROP*, didapatkan:

$$\rho = 2,1506 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 7,9058 \times 10^{-6} \text{ Pa.s}$$

**Dihitung :**

$$\dot{m} = \rho A v$$

Luas permukaan yang digunakan  $A = A_s$  = luas permukaan saluran

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho A} = \frac{\dot{m}}{\rho A} = \frac{0,038 \times 10^{-3}}{(2,1506)(3,84 \times 10^{-5})} = 0,459 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{(2,1506)(0,459)(0,0063)}{7,9058 \times 10^{-6}} = 874,7221$$

Sehingga, besarnya nilai gaya seret atau *Drag* tersebut adalah :

$$F_d = \frac{6\pi\mu UR \left(1 - \frac{2}{3}\left(\frac{D}{H}\right)^2 - 0,20217\left(\frac{D}{H}\right)^5\right)}{\left(1 - 2,1050\frac{D}{H} + 2,0865\left(\frac{D}{H}\right)^3 - 1,7068\left(\frac{D}{H}\right)^5 + 0,72603\left(\frac{D}{H}\right)^6\right)}$$

R = jari-jari bola

$$R = 3,15 \text{ mm} = 0,0315 \text{ m}$$

D/H = dg/Ds = perbandingan antara diameter bola gotri dan diameter saluran keluar regulator

$$D/H = 0,9$$

**Jawaban :**

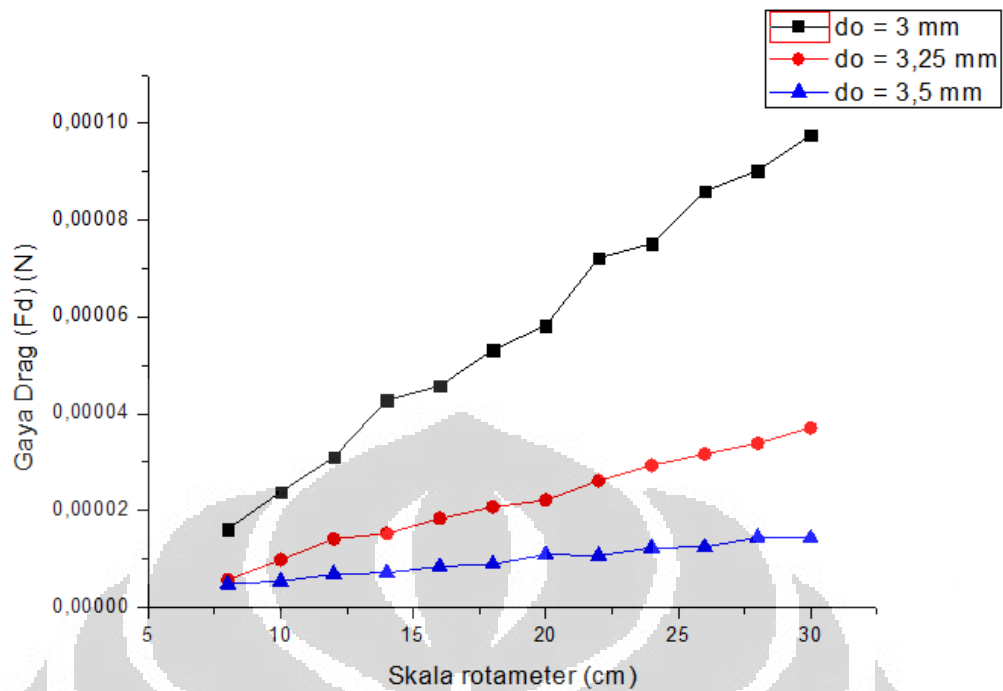
$$F_d = \frac{6\pi(7,9058 \times 10^{-6})(0,4593)(0,0315)\left(1 - \frac{2}{3}(0,9)^2 - 0,20217(0,9)^5\right)}{\left(1 - 2,1050(0,9) + 2,0865(0,9)^3 - 1,7068((0,9)^5 + 0,72603(0,9)^6\right)}$$

$$\mathbf{F_d = 1,613 \times 10^{-5} \text{ N}}$$

Sehingga, gaya seret atau *Drag* yang dihasilkan oleh salah satu perhitungan pada regulator diatas ialah  $1,613 \times 10^{-5}$  N. Pada perhitungan selanjutnya, laju perubahan massa pada regulator  $d_o = 3$  mm pada skala rotameter 28 dan 30 cm tidak sesuai dengan keadaan aslinya, namun mengambil hasil trendline pada skala rotameter sebelumnya untuk mengetahui laju perubahan massa yang tidak sempat terukur karena bola gotri telah tertutup pada keadaan sebenarnya. Perhitungan yang sesuai dengan pengujian hubungan antara laju aliran dengan tekanan keluar regulator yang terukur pada tabung gas normal dapat dirangkum sesuai dengan tabel 4.5 dan gambar 4.8.

Tabel 4.6 Besarnya gaya seret atau *Drag* sesuai dengan skala rotameter yang diatur

Skala rotameter	Gaya Drag (Fd)		
	N		
cm	$d_o = 3$ mm	$d_o = 3,25$ mm	$d_o = 3,5$ mm
8	1,613E-05	5,68498E-06	4,79E-06
10	2,388E-05	9,80402E-06	5,38146E-06
12	3,098E-05	1,41503E-05	6,86817E-06
14	4,279E-05	1,52239E-05	7,12972E-06
16	4,575E-05	1,83353E-05	8,44953E-06
18	5,316E-05	2,07017E-05	8,89924E-06
20	5,823E-05	2,21336E-05	1,09007E-05
22	7,222E-05	2,61854E-05	1,06647E-05
24	7,511E-05	2,93197E-05	1,23039E-05
26	8,596E-05	3,16357E-05	1,24447E-05
28	9,024E-05	3,38859E-05	1,44326E-05
30	9,757E-05	3,70928E-05	1,42367E-05



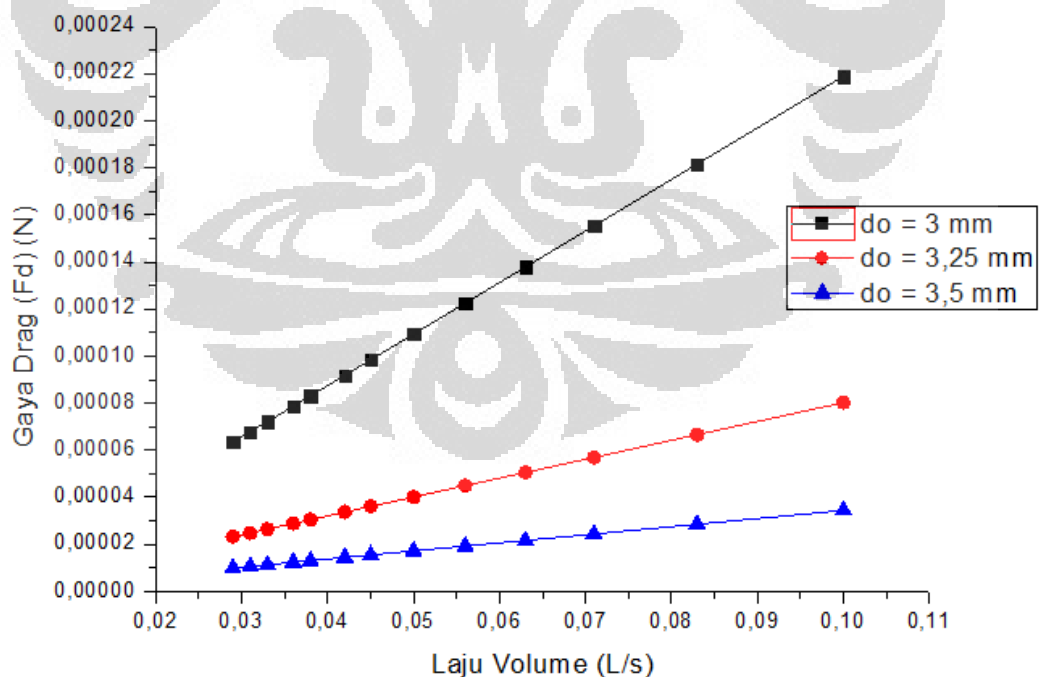
Gambar 4.14 Hubungan antara skala rotameter yang diuji dengan gaya seret atau *Drag* yang ditimbulkan

Besarnya gaya seret atau *Drag* yang terjadi pada bola gotri akibat aliran gas sesuai dengan eksperimen, dimana gaya seret yang besar dapat menimbulkan bola gotri ikut terseret pada regulator  $do = 3$  mm. Bola gotri yang terseret dapat menimbulkan *lock up* pada regulator dan pada akhirnya menyebabkan aliran gas LPG terhenti ketika kompor sedang dinyalakan. Hal ini dapat meresahkan masyarakat yang sedang menggunakan kompor, khususnya dalam keadaan api menyala. Kompor yang sedang digunakan akan langsung padam, karena terhentinya aliran gas LPG yang menuju kompor. Kejadian ini mungkin terjadi khususnya pada masyarakat yang menggunakan aliran gas yang tinggi ketika menggunakan kompor gas LPG.

Pada pengujian aliran balik, kecepatan aliran didapatkan dari laju aliran volume yang telah diatur sebelumnya. Hal ini dengan menganggap, besarnya densitas dan viskositas udara sebagai aliran gas dianggap konstan, yaitu  $\rho = 1,165$   $\text{kg/m}^3$  dan  $\mu = 18,593 \times 10^{-6}$  Pa.s. Besarnya gaya seret atau *Drag* yang dihasilkan sesuai dengan persamaan analitis sebelumnya. Nilai ini dapat dilihat pada aliran tabel 4.6 dan gambar 4.15.

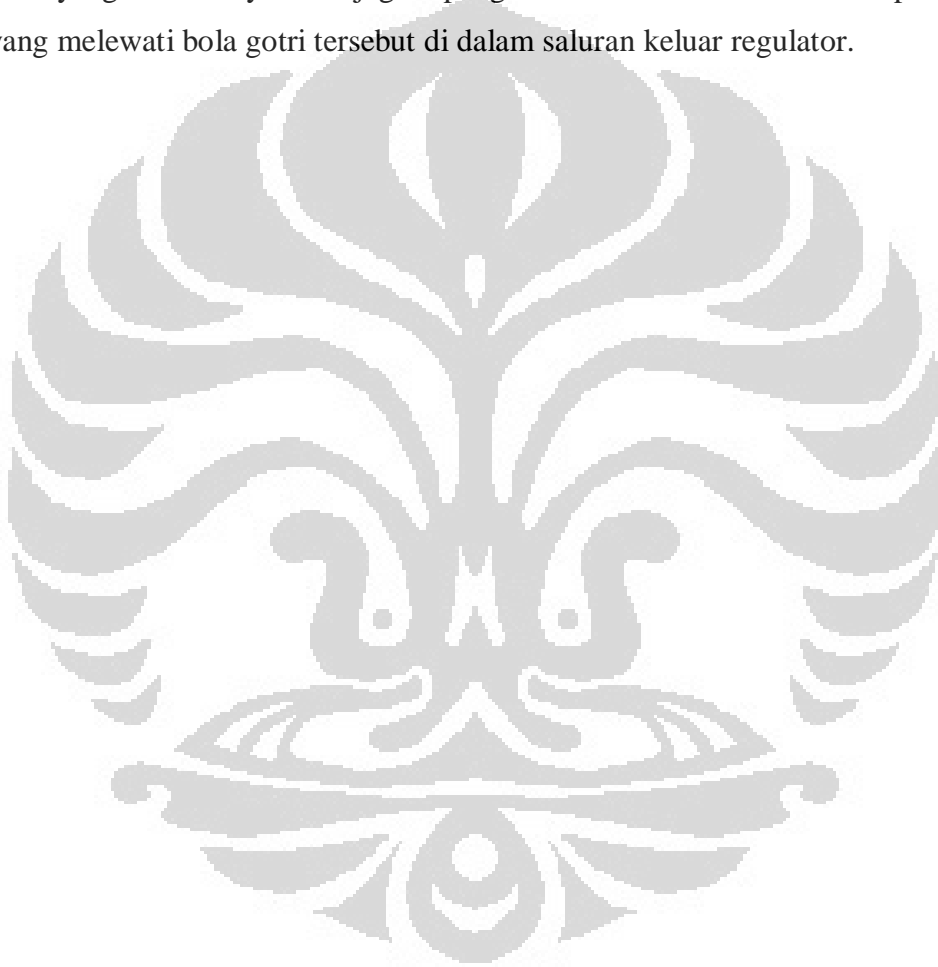
Tabel 4.7 Besarnya gaya seret sesuai dengan laju aliran volume yang diatur pada pengujian aliran balik

Laju Volume	Gaya Drag (Fd)		
L/s	N		
Q	do = 3 mm	do = 3,25 mm	do = 3,5 mm
0,1	0,0002188	8,02563E-05	3,4439E-05
0,083	0,0001816	6,66127E-05	2,8584E-05
0,071	0,0001553	5,6982E-05	2,4452E-05
0,063	0,0001378	5,05615E-05	2,1697E-05
0,056	0,0001225	4,49435E-05	1,9286E-05
0,05	0,0001094	4,01281E-05	1,722E-05
0,045	9,846E-05	3,61153E-05	1,5498E-05
0,042	9,19E-05	3,37076E-05	1,4464E-05
0,038	8,314E-05	3,04974E-05	1,3087E-05
0,036	7,877E-05	2,88923E-05	1,2398E-05
0,033	7,22E-05	2,64846E-05	1,1365E-05
0,031	6,783E-05	2,48794E-05	1,0676E-05
0,029	6,345E-05	2,32743E-05	9,9873E-06



Gambar 4.15 Hubungan antara laju volume dengan gaya drag yang dihasilkan pada pengujian aliran balik

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4.6 dan gambar 4.15, dapat dilihat bahwa regulator  $d_o = 3$  mm atau  $d_g/D_s = 0,9$  memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan regulator lainnya. Nilai tersebut diikuti dengan regulator  $d_o = 3,25$  mm atau  $d_g/D_s = 0,8$  dan nilai gaya seret atau *Drag* yang paling rendah terdapat pada bola gotri  $d_o = 3,5$  mm atau  $d_g/D_s = 0,7$ . Berdasarkan hasil tersebut dapat dijelaskan bahwa perbandingan antara diameter bola gotri dengan diameter saluran keluar regulator yang lebih besar menyebabkan gaya seret yang lebih. Gaya seret juga dipengaruhi oleh viskositas dan kecepatan aliran yang melewati bola gotri tersebut di dalam saluran keluar regulator.





## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

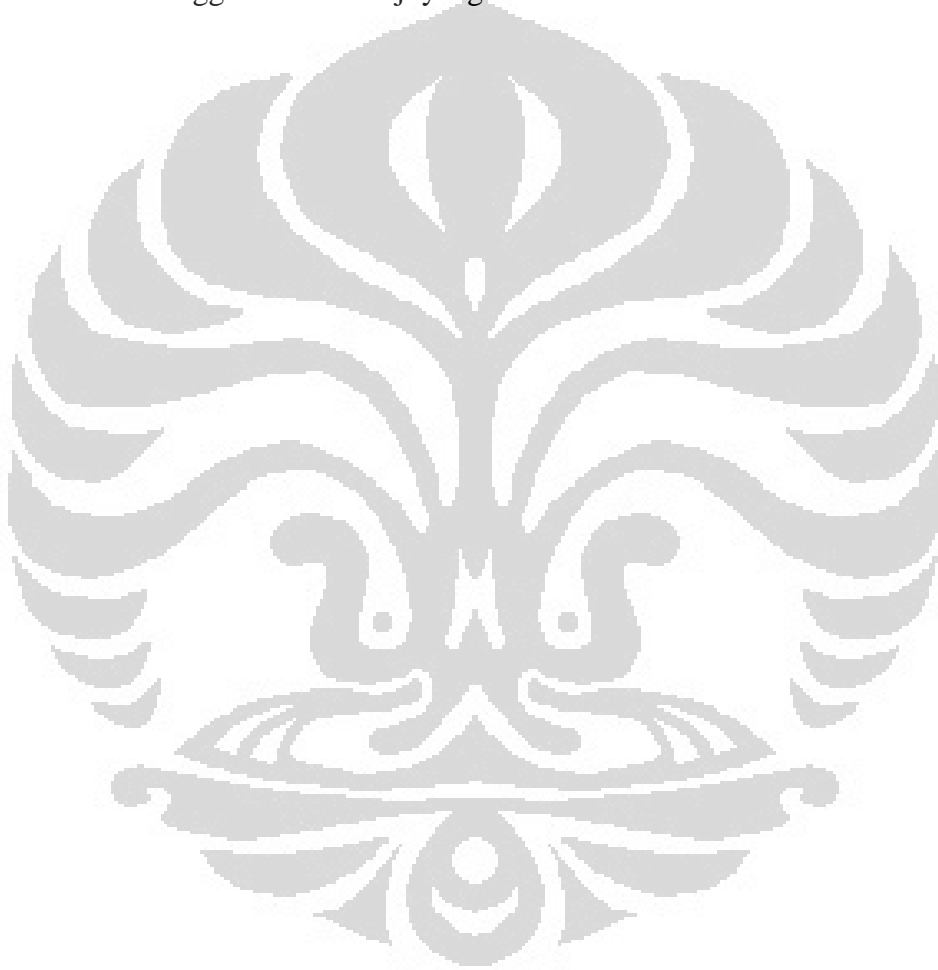
1. Laju aliran yang tinggi dapat menimbulkan *lock up* pada regulator akibat terseretnya bola gotri. Regulator dengan diameter lubang keluar  $d_o = 3$  mm menimbulkan *lock up* pada regulator ketika laju aliran  $6,6687$  l/s atau laju aliran massa sebesar  $0,208$  gr/detik.
2. Secara umum, bola gotri bekerja sesuai dengan diameter bola gotri, geometri dan performansi regulator, tekanan, dan laju aliran, baik sebagai pengaman maupun *ball check valve* pada regulator.
3. Regulator memiliki performansi yang berbeda untuk aliran multifase cairan-uap yang melewatinya dan *lock up* pada regulator dengan diameter masuk saluran keluar kecil,  $d_i = 4,6$  mm yaitu pada regulator dengan lubang masuk saluran keluar,  $d_o = 3$  mm dan  $d_o = 3,5$  mm.
4. Bola gotri dapat berperan sebagai *ball check valve* dimana diameter bola gotri terbesar dan saluran keluar terkecil, dapat menahan aliran balik lebih cepat yaitu regulator  $d_o = 3$  mm.
5. Perlu adanya standar aturan yang berkaitan dengan geometri bola gotri dan saluran keluar regulator tekanan rendah gas LPG.

#### 5.2 Saran

Dari penelitian ini ada beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya, antara lain adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya analisis non-dimensional terhadap hasil penelitian bola gotri pada regulator dan pengambilan data yang lebih kompleks untuk memperoleh variasi bola gotri dan regulator.

2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut yang berkaitan dengan bola gotri, ketika terjadi kebocoran gas pada selang dan adanya aliran multifase cairan-uap pada regulator.
3. Pengukuran kecepatan api pada saat *flashback* perlu dilakukan untuk mendapatkan besarnya aliran yang mencapai ujung saluran keluar regulator.
4. Percobaan bola gotri pada regulator perlu dilakukan lebih lanjut menggunakan alat uji yang lebih sensitif.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] FAQ-Pertamina Gasdom, Elpiji 3 kg,  
<[http://gasdom.pertamina.com/produk\\_dan\\_services\\_elpiji\\_3kg.aspx](http://gasdom.pertamina.com/produk_dan_services_elpiji_3kg.aspx)>
- [2] Departemen ESDM. *Program Pengalihan Minyak Tanah ke LPG Blueprint*. Indonesia, Jakarta, 2007
- [3] Badan Standardisasi Nasional (2008). SNI 7369:2008 Regulator Tekanan Rendah. Jakarta
- [4] BPPT : Banyak Kelemahan Desain Regulator Kompor Gas, Wartapedia 19 Juli 2011, <<http://wartapedia.com/sosial/psks.html?start=94>>
- [5] Dani, Mohammad, Nurdin Effendi. 2000. *Analisis Komponen katup Regulator Aliran Gas Buatan Lokal*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Iptek Bahan-BATAN, Puspiptek Serpong-Tangerang.
- [6] Taufan, Arike M (Agustus, 2010). General Serve Pertamina Surakarta. *Harian Joglo Semar* (10 agustus 2010). *Bau Gas Elpiji Dipertajam*. <<http://www.harianjoglosemar.com>>
- [7] Mally, E. C. 1963. *Gas Appliance Regulator*. Gas Appliance Handbook. Central Chapter National Gas Award. Section 3
- [8] Slang Gas Terlepas Nenek Tewas Terbakar, Kompas.com, 19 Februari 2012 <<http://megapolitan.kompas.com/read/2012/02/19/15124747/Slang.Gas.Terlepas.Nenek.Tewas.Terbakar>>
- [9] Gas Bocor Kustantinah Terluka, Kompas.com, Selasa 2 November 2010 <<http://megapolitan.kompas.com/read/2010/11/02/03551361/Gas.Bocor.Kustantinah.Terluka>>
- [10] Jelani, Aprial. 2010. *Pengaruh Penambahan LPG Sebagai Bahan Bakar Ganda (Dual Fuel) Pada Mesin Diesel Jiandong(JD185NL) Type Direct Injection Generator Satu Silinder*. Tugas Akhir. Universitas Mataram

- [11] Munson, Young & Okiishi (2002). *Mekanika Fluida Edisi Keempat*, Jakarta: Erlangga
- [12] Teryanto, IMD Fredy Lay. Skripsi : Analisis Pengaruh Kontrol Aktif Aliran Berupa Suction terhadap Drag Aerodinamika model Reversed Ahmed Body. Depok: Universitas Indonesia. 2011
- [13] White, Frank M. 2001. *Fluid Mechanics Fourth Edition*. McGraw-Hill Companies
- [14] European Industrial Gases Association AISBL. Safety Information. *Flashback and Flame Arrestors*. Brussels, 2008.
- [15] Balloon, John V. 2007. A Methodology For Predicting Check Valve Slam. Journal AWWA.
- [16] Haberman, W. L, Sayre, R. M., 1958. David Taylor Model Basin, Report No. 1143, Washington D.C., U.S. Navy Dept

## LAMPIRAN

### 1.1 Hubungan antara waktu dan perubahan massa pada kemiringan tabung $90^0$

waktu	perubahan massa		
detik	gram		
	do = 3 mm	do = 3,25	do = 3,5 mm
60	13	4,5	9,5
120	14	10	9,5
180	18	9,5	9,5
240	3	6	6
300	2,5	3	2,5
360	5	2,5	4
420	1,5	9,5	2
480	0,5	7	3
540	2,5	6	2,5
600	3,5	4	0,5
660	3	0,5	0,5
720	2,5	0,5	0,5
780	4,5	0,5	1,5
840	3,5	9,5	0,5
900	3	7,5	1
960	3	2	0
1020	2,5	1,5	--
1080	2	1	--
1140	0	1	--
1200	--	0	--

### 1.2 Hubungan antara waktu dan perubahan laju aliran pada kemiringan tabung $90^0$

waktu	perubahan laju aliran		
detik	L/s		
	do = 3 mm	do = 3,25	do = 3,5 mm
60	0,0679	0,0679	0,0679
120	0,0642	0,06605	0,06346
180	0,0531	0,0642	0,0531
240	0,04663	0,0568	0,03941
300	0,04292	0,03016	0,02757
360	0,03997	0,01832	0,01795

420	0,03682	0,07715	0,00907
480	0,03571	0,05125	0,00907
540	0,03275	0,03534	0,00907
600	0,0309	0,02424	0,00907
660	0,03016	0,02091	0,00907
720	0,02905	0,01795	0,00907
780	0,02794	0,0124	0,00907
840	0,02535	0,00907	0,00907
900	0,02424	0,0753	0,00907
960	0,0235	0,03386	0,0087
1020	0,0198	0,0198	--
1080	0,00907	0,01536	--
1140	0,0087	0,01203	--
1200	--	0,00907	--

### 1.3 Hubungan antara waktu dan tekanan keluar pada kemiringan tabung 90°

waktu detik	tekanan keluar		
	barg		
	do = 3 mm	do = 3,25 mm	do = 3,5 mm
1	0,034	0,04	0,038
2	0,034	0,04	0,038
3	0,034	0,04	0,038
4	0,034	0,04	0,038
5	0,034	0,04	0,038
6	0,034	0,04	0,038
7	0,032	0,038	0,038
8	0,032	0,038	0,036
9	0,032	0,04	0,036
10	0,032	0,04	0,036
11	0,032	0,04	0,036
12	0,03	0,04	0,036
13	0,03	0,04	0,036
14	0,03	0,04	0,036
15	0,03	0,04	0,036
16	0,03	0,04	0,036
17	0,03	0,036	0,036
18	0,03	0,036	0,036
19	0,03	0,038	0,036
20	0,03	0,038	0,036
21	0,03	0,038	0,036

22	0,03	0,038	0,036
23	0,028	0,038	0,036
24	0,028	0,038	0,036
25	0,03	0,036	0,036
26	0,03	0,036	0,036
27	0,03	0,036	0,036
28	0,03	0,036	0,036
29	0,03	0,036	0,036
30	0,03	0,036	0,036
31	0,03	0,036	0,036
32	0,03	0,034	0,036
33	0,03	0,034	0,036
34	0,03	0,034	0,036
35	0,03	0,036	0,036
36	0,03	0,036	0,036
37	0,03	0,034	0,036
38	0,03	0,034	0,036
39	0,03	0,034	0,036
40	0,03	0,034	0,036
41	0,03	0,034	0,036
42	0,03	0,034	0,036
43	0,03	0,034	0,036
44	0,03	0,034	0,034
45	0,03	0,034	0,034
46	0,03	0,034	0,036

47	0,03	0,034	0,036
48	0,028	0,034	0,036
49	0,028	0,034	0,034
50	0,028	0,034	0,034
51	0,03	0,034	0,036
52	0,03	0,034	0,036
53	0,03	0,034	0,036
54	0,03	0,034	0,034
55	0,03	0,034	0,034
56	0,028	0,034	0,034
57	0,028	0,034	0,036
58	0,028	0,036	0,036
59	0,03	0,036	0,036
60	0,03	0,034	0,036
61	0,03	0,034	0,036
62	0,03	0,034	0,034
63	0,03	0,034	0,034
64	0,03	0,034	0,034
65	0,03	0,034	0,034
66	0,03	0,034	0,034
67	0,03	0,034	0,034
68	0,03	0,034	0,034
69	0,03	0,034	0,034
70	0,03	0,034	0,036
71	0,03	0,034	0,036
72	0,03	0,034	0,034
73	0,03	0,034	0,034
74	0,03	0,034	0,034
75	0,03	0,034	0,034
76	0,03	0,034	0,034
77	0,03	0,034	0,036
78	0,03	0,034	0,036
79	0,03	0,034	0,036
80	0,03	0,034	0,036
81	0,03	0,034	0,036
82	0,03	0,034	0,034
83	0,03	0,034	0,034
84	0,03	0,034	0,034
85	0,03	0,034	0,034
86	0,03	0,034	0,034
87	0,03	0,034	0,036
88	0,03	0,034	0,036
89	0,03	0,034	0,036

90	0,03	0,034	0,034
91	0,03	0,034	0,034
92	0,03	0,034	0,034
93	0,03	0,034	0,034
94	0,03	0,034	0,034
95	0,03	0,034	0,034
96	0,03	0,034	0,034
97	0,03	0,034	0,034
98	0,03	0,034	0,036
99	0,03	0,034	0,036
100	0,03	0,034	0,034
101	0,03	0,034	0,034
102	0,03	0,034	0,034
103	0,03	0,034	0,034
104	0,03	0,034	0,034
105	0,03	0,034	0,034
106	0,03	0,034	0,034
107	0,03	0,034	0,034
108	0,03	0,034	0,036
109	0,03	0,034	0,036
110	0,03	0,034	0,036
111	0,03	0,034	0,034
112	0,03	0,034	0,034
113	0,028	0,034	0,034
114	0,028	0,034	0,034
115	0,03	0,034	0,034
116	0,03	0,034	0,034
117	0,03	0,032	0,034
118	0,03	0,032	0,034
119	0,03	0,032	0,034
120	0,03	0,032	0,034
121	0,03	0,032	0,04
122	0,03	0,032	0,04
123	0,028	0,032	0,036
124	0,028	0,032	0,036
125	0,028	0,032	0,036
126	0,028	0,032	0,036
127	0,028	0,034	0,036
128	0,03	0,034	0,036
129	0,03	0,034	0,036
130	0,03	0,032	0,036
131	0,028	0,032	0,034
132	0,028	0,032	0,034

133	0,028	0,032	0,034
134	0,028	0,032	0,036
135	0,028	0,032	0,036
136	0,028	0,032	0,034
137	0,028	0,032	0,034
138	0,028	0,032	0,034
139	0,028	0,032	0,036
140	0,028	0,032	0,036
141	0,028	0,032	0,034
142	0,028	0,032	0,034
143	0,028	0,032	0,034
144	0,028	0,032	0,036
145	0,028	0,03	0,036
146	0,03	0,03	0,036
147	0,03	0,03	0,034
148	0,03	0,032	0,034
149	0,03	0,032	0,036
150	0,03	0,032	0,036
151	0,028	0,032	0,036
152	0,028	0,032	0,034
153	0,028	0,03	0,034
154	0,03	0,03	0,036
155	0,03	0,03	0,036
156	0,03	0,03	0,036
157	0,03	0,03	0,034
158	0,03	0,03	0,034
159	0,028	0,03	0,034
160	0,028	0,03	0,034
161	0,028	0,03	0,034
162	0,028	0,03	0,034
163	0,028	0,032	0,034
164	0,028	0,032	0,034
165	0,028	0,032	0,034
166	0,028	0,03	0,034
167	0,026	0,03	0,034
168	0,026	0,028	0,034
169	0,028	0,028	0,034
170	0,028	0,028	0,034
171	0,028	0,026	0,034
172	0,026	0,026	0,034
173	0,026	0,032	0,034
174	0,03	0,032	0,034
175	0,03	0,032	0,034

176	0,03	0,03	0,034
177	0,026	0,03	0,036
178	0,026	0,03	0,036
179	0,026	0,028	0,036
180	0,026	0,028	0,034
181	0,026	0,024	0,034
182	0,026	0,024	0,034
183	0,026	0,024	0,036
184	0,024	0,022	0,036
185	0,024	0,022	0,034
186	0,024	0,03	0,034
187	0,024	0,03	0,034
188	0,024	0,03	0,034
189	0,024	0,024	0,034
190	0,024	0,024	0,034
191	0,024	0,024	0,034
192	0,026	0,024	0,034
193	0,026	0,024	0,034
194	0,026	0,024	0,034
195	0,024	0,024	0,034
196	0,024	0,024	0,034
197	0,024	0,024	0,034
198	0,024	0,024	0,034
199	0,024	0,02	0,034
200	0,024	0,02	0,034
201	0,024	0,02	0,034
202	0,024	0,024	0,034
203	0,024	0,024	0,032
204	0,024	0,02	0,032
205	0,024	0,02	0,034
206	0,024	0,02	0,034
207	0,024	0,018	0,034
208	0,024	0,018	0,032
209	0,024	0,02	0,032
210	0,024	0,02	0,032
211	0,024	0,02	0,032
212	0,024	0,016	0,032
213	0,024	0,016	0,032
214	0,024	0,016	0,032
215	0,024	0,014	0,032
216	0,024	0,014	0,032
217	0,024	0,014	0,032
218	0,022	0,014	0,032



219	0,022	0,014	0,032
220	0,022	0,012	0,032
221	0,022	0,012	0,032
222	0,022	0,012	0,032
223	0,022	0,012	0,032
224	0,022	0,012	0,032
225	0,022	0,012	0,032
226	0,022	0,012	0,032
227	0,022	0,01	0,032
228	0,02	0,01	0,032
229	0,02	0,01	0,032
230	0,02	0,008	0,032
231	0,022	0,008	0,032
232	0,022	0,008	0,032
233	0,02	0,008	0,032
234	0,02	0,008	0,032
235	0,02	0,008	0,032
236	0,022	0,008	0,032
237	0,022	0,008	0,032
238	0,022	0,008	0,032
239	0,022	0,008	0,032
240	0,022	0,008	0,032
241	0,02	0,008	0,032
242	0,02	0,008	0,032
243	0,02	0,01	0,032
244	0,02	0,01	0,032
245	0,02	0,01	0,032
246	0,018	0,01	0,032
247	0,018	0,01	0,032
248	0,018	0,008	0,032
249	0,018	0,008	0,032
250	0,018	0,008	0,032
251	0,018	0,008	0,032
252	0,018	0,008	0,032
253	0,018	0,008	0,032
254	0,018	0,008	0,032
255	0,018	0,008	0,032
256	0,016	0,008	0,032
257	0,016	0,008	0,032
258	0,016	0,008	0,032
259	0,016	0,008	0,032
260	0,016	0,008	0,032
261	0,016	0,008	0,032

262	0,016	0,008	0,032
263	0,016	0,008	0,032
264	0,018	0,008	0,032
265	0,018	0,008	0,032
266	0,018	0,008	0,032
267	0,016	0,008	0,032
268	0,016	0,006	0,032
269	0,016	0,006	0,032
270	0,016	0,006	0,032
271	0,016	0,008	0,032
272	0,016	0,008	0,032
273	0,016	0,006	0,032
274	0,016	0,006	0,032
275	0,016	0,006	0,032
276	0,016	0,006	0,032
277	0,016	0,006	0,03
278	0,016	0,006	0,03
279	0,016	0,006	0,03
280	0,016	0,006	0,03
281	0,016	0,006	0,03
282	0,016	0,006	0,03
283	0,016	0,006	0,03
284	0,016	0,006	0,03
285	0,016	0,006	0,03
286	0,016	0,006	0,03
287	0,016	0,006	0,03
288	0,016	0,006	0,032
289	0,016	0,006	0,032
290	0,016	0,006	0,032
291	0,016	0,006	0,032
292	0,016	0,004	0,032
293	0,016	0,004	0,034
294	0,016	0,004	0,034
295	0,016	0,004	0,034
296	0,016	0,004	0,034
297	0,016	0,006	0,034
298	0,016	0,006	0,032
299	0,016	0,004	0,032
300	0,016	0,004	0,032
301	0,016	0,004	0,034
302	0,016	0,004	0,034
303	0,016	0,004	0,034
304	0,016	0,004	0,034

305	0,016	0,004	0,034
306	0,016	0,004	0,032
307	0,016	0,004	0,032
308	0,014	0,004	0,032
309	0,014	0,004	0,032
310	0,014	0,004	0,032
311	0,014	0,004	0,038
312	0,014	0,004	0,038
313	0,014	0,004	0,006
314	0,014	0,004	0,006
315	0,014	0,004	0,006
316	0,014	0,004	0,002
317	0,014	0,004	0,002
318	0,014	0,004	0,004
319	0,014	0,004	0,004
320	0,014	0,004	0,004
321	0,014	0,004	0,002
322	0,014	0,004	0,002
323	0,014	0,004	0,002
324	0,014	0,004	0
325	0,014	0,002	0
326	0,014	0,002	0
327	0,014	0,004	0
328	0,014	0,004	0
329	0,014	0,004	0
330	0,014	0,004	0
331	0,014	0,004	0
332	0,014	0,004	0
333	0,014	0,004	0
334	0,014	0,004	0
335	0,014	0,004	0
336	0,014	0,004	0
337	0,014	0,004	0
338	0,014	0,002	0
339	0,014	0,002	0
340	0,014	0,004	0
341	0,014	0,004	0
342	0,014	0,004	0
343	0,014	0,002	0
344	0,012	0,002	0
345	0,012	0,002	0
346	0,012	0,002	0
347	0,012	0,002	0

348	0,012	0,004	0
349	0,012	0,004	0
350	0,012	0,002	0
351	0,014	0,002	0
352	0,014	0,002	0
353	0,014	0,004	0
354	0,012	0,004	0
355	0,012	0,004	0
356	0,012	0,004	0
357	0,012	0,004	0
358	0,012	0,002	0
359	0,014	0,002	0
360	0,014	0,002	0
361	0,014	0,024	0
362	0,012	0,024	0
363	0,012	0,062	0
364	0,014	0,062	0
365	0,014	0,062	0
366	0,014	0,052	0
367	0,012	0,052	0
368	0,012	0,046	0
369	0,014	0,046	0
370	0,014	0,046	0
371	0,014	0,046	0
372	0,012	0,046	0
373	0,012	0,046	0
374	0,014	0,04	0
375	0,014	0,04	0
376	0,014	0,04	0
377	0,014	0,04	0
378	0,014	0,04	0
379	0,014	0,036	0
380	0,014	0,036	0
381	0,014	0,036	0
382	0,014	0,036	0
383	0,014	0,036	0
384	0,014	0,034	0
385	0,012	0,034	0
386	0,012	0,03	0
387	0,012	0,03	0
388	0,012	0,03	0
389	0,012	0,028	0
390	0,012	0,028	0

391	0,012	0,028	0
392	0,012	0,028	0
393	0,012	0,028	0
394	0,012	0,026	0
395	0,012	0,026	0
396	0,012	0,026	0
397	0,012	0,026	0
398	0,012	0,026	0
399	0,012	0,026	0
400	0,012	0,026	0
401	0,012	0,026	0
402	0,012	0,024	0
403	0,012	0,024	0
404	0,012	0,024	0
405	0,014	0,024	0
406	0,014	0,024	0
407	0,014	0,022	0
408	0,014	0,022	0
409	0,014	0,022	0
410	0,012	0,02	0
411	0,012	0,02	0
412	0,012	0,02	0
413	0,014	0,02	0
414	0,014	0,02	0
415	0,014	0,02	0
416	0,012	0,02	0
417	0,012	0,018	0
418	0,012	0,018	0
419	0,012	0,018	0
420	0,012	0,016	0
421	0,012	0,016	0
422	0,012	0,018	0
423	0,012	0,018	0
424	0,012	0,018	0
425	0,012	0,018	0
426	0,014	0,018	0
427	0,014	0,018	0
428	0,012	0,018	0
429	0,012	0,018	0
430	0,012	0,02	0
431	0,012	0,02	0
432	0,012	0,02	0
433	0,012	0,112	0

434	0,012	0,112	0
435	0,012	0,06	0
436	0,012	0,06	0
437	0,012	0,06	0
438	0,012	0,046	0
439	0,012	0,046	0
440	0,012	0,038	0
441	0,012	0,038	0
442	0,012	0,038	0
443	0,012	0,032	0
444	0,012	0,032	0
445	0,012	0,028	0
446	0,012	0,028	0
447	0,012	0,028	0
448	0,012	0,074	0
449	0,01	0,074	0
450	0,01	0,074	0
451	0,01	0,05	0
452	0,012	0,05	0
453	0,012	0,034	0
454	0,012	0,034	0
455	0,012	0,034	0
456	0,012	0,048	0
457	0,012	0,048	0
458	0,012	0,034	0
459	0,01	0,034	0
460	0,01	0,034	0
461	0,01	0,026	0
462	0,012	0,026	0
463	0,012	0,022	0
464	0,01	0,022	0
465	0,01	0,022	0
466	0,01	0,02	0
467	0,012	0,02	0
468	0,012	0,02	0
469	0,012	0,018	0
470	0,012	0,018	0
471	0,012	0,018	0
472	0,012	0,018	0
473	0,012	0,018	0
474	0,012	0,016	0
475	0,012	0,016	0
476	0,012	0,014	0

477	0,012	0,014	0
478	0,012	0,014	0
479	0,012	0,014	0
480	0,01	0,014	0
481	0,01	0,014	0
482	0,012	0,014	0
483	0,012	0,014	0
484	0,012	0,014	0
485	0,012	0,014	0
486	0,012	0,014	0
487	0,012	0,012	0
488	0,012	0,012	0
489	0,012	0,01	0
490	0,012	0,01	0
491	0,012	0,01	0
492	0,012	0,01	0
493	0,012	0,01	0
494	0,012	0,012	0
495	0,012	0,012	0
496	0,012	0,012	0
497	0,012	0,012	0
498	0,008	0,012	0
499	0,008	0,01	0
500	0,01	0,01	0
501	0,01	0,01	0
502	0,01	0,008	0
503	0,008	0,008	0
504	0,008	0,008	0
505	0,01	0,01	0
506	0,01	0,01	0
507	0,01	0,008	0
508	0,012	0,008	0
509	0,012	0,008	0
510	0,01	0,008	0
511	0,01	0,008	0
512	0,01	0,008	0
513	0,012	0,008	0
514	0,012	0,008	0
515	0,012	0,008	0
516	0,008	0,008	0
517	0,008	0,008	0
518	0,008	0,008	0
519	0,008	0,008	0

520	0,008	0,008	0
521	0,012	0,008	0
522	0,012	0,008	0
523	0,01	0,008	0
524	0,01	0,008	0
525	0,01	0,006	0
526	0,008	0,006	0
527	0,008	0,006	0
528	0,008	0,006	0
529	0,01	0,006	0
530	0,01	0,008	0
531	0,01	0,008	0
532	0,01	0,008	0
533	0,01	0,006	0
534	0,008	0,006	0
535	0,008	0,006	0
536	0,008	0,006	0
537	0,008	0,006	0
538	0,008	0,006	0
539	0,008	0,006	0
540	0,008	0,006	0
541	0,008	0,006	0
542	0,008	0,006	0
543	0,008	0,006	0
544	0,008	0,006	0
545	0,008	0,006	0
546	0,01	0,006	0
547	0,01	0,006	0
548	0,01	0,006	0
549	0,008	0,006	0
550	0,008	0,006	0
551	0,008	0,006	0
552	0,008	0,006	0
553	0,008	0,006	0
554	0,008	0,006	0
555	0,008	0,006	0,002
556	0,008	0,006	0,002
557	0,008	0,006	0
558	0,008	0,006	0
559	0,01	0,006	0
560	0,01	0,006	0
561	0,01	0,006	0
562	0,008	0,006	0

563	0,008	0,006	0
564	0,008	0,006	0
565	0,008	0,006	0
566	0,008	0,006	0
567	0,008	0,006	0
568	0,008	0,006	0
569	0,008	0,006	0
570	0,01	0,006	0
571	0,01	0,006	0
572	0,008	0,006	0
573	0,008	0,006	0
574	0,008	0,006	0
575	0,008	0,006	0
576	0,008	0,006	0
577	0,008	0,006	0
578	0,008	0,006	0
579	0,008	0,006	0
580	0,008	0,006	0
581	0,008	0,006	0
582	0,008	0,004	0
583	0,008	0,004	0
584	0,008	0,006	0
585	0,008	0,006	0
586	0,008	0,006	0
587	0,01	0,006	0
588	0,01	0,006	0
589	0,01	0,006	0
590	0,01	0,006	0
591	0,01	0,006	0
592	0,01	0,006	0
593	0,01	0,006	0
594	0,01	0,006	0
595	0,008	0,006	0
596	0,008	0,006	0
597	0,008	0,006	0
598	0,008	0,006	0
599	0,008	0,006	0
600	0,008	0,006	0
601	0,008	0,006	0
602	0,008	0,006	0
603	0,008	0,006	0
604	0,008	0,006	0
605	0,008	0,006	0

606	0,008	0,006	0
607	0,008	0,006	0
608	0,008	0,006	0
609	0,008	0,006	0
610	0,008	0,004	0
611	0,008	0,004	0
612	0,008	0,004	0
613	0,008	0,004	0
614	0,008	0,004	0
615	0,008	0,006	0
616	0,008	0,006	0
617	0,008	0,006	0
618	0,008	0,006	0
619	0,008	0,006	0
620	0,008	0,004	0
621	0,008	0,004	0
622	0,008	0,004	0
623	0,008	0,004	0
624	0,008	0,004	0
625	0,008	0,004	0
626	0,008	0,004	0
627	0,008	0,004	0
628	0,008	0,006	0
629	0,008	0,006	0
630	0,008	0,004	0
631	0,008	0,004	0
632	0,008	0,004	0
633	0,008	0,004	0
634	0,006	0,004	0
635	0,006	0,004	0
636	0,008	0,004	0
637	0,008	0,004	0
638	0,008	0,006	0
639	0,008	0,006	0
640	0,008	0,004	0
641	0,008	0,004	0
642	0,008	0,004	0
643	0,008	0,004	0
644	0,008	0,004	0
645	0,008	0,004	0
646	0,008	0,004	0
647	0,008	0,004	0
648	0,008	0,004	0

649	0,006	0,004	0
650	0,006	0,004	0
651	0,006	0,004	0
652	0,006	0,004	0
653	0,006	0,004	0
654	0,008	0,004	0
655	0,008	0,004	0
656	0,008	0,004	0
657	0,008	0,004	0
658	0,008	0,004	0
659	0,006	0,004	0
660	0,006	0,004	0,002
661	0,006	0,004	0,002
662	0,006	0,004	0
663	0,006	0,004	0
664	0,006	0,004	0
665	0,006	0,004	0
666	0,006	0,004	0
667	0,006	0,004	0
668	0,006	0,004	0
669	0,006	0,004	0
670	0,006	0,004	0
671	0,006	0,004	0
672	0,006	0,004	0
673	0,006	0,004	0
674	0,006	0,002	0
675	0,008	0,002	0
676	0,008	0,004	0
677	0,006	0,004	0
678	0,006	0,004	0
679	0,006	0,004	0
680	0,006	0,004	0
681	0,006	0,004	0
682	0,008	0,004	0
683	0,008	0,004	0
684	0,008	0,002	0
685	0,006	0,002	0
686	0,006	0,002	0
687	0,006	0,004	0
688	0,006	0,004	0
689	0,006	0,004	0
690	0,006	0,004	0
691	0,006	0,004	0

692	0,006	0,004	0
693	0,006	0,004	0
694	0,006	0,004	0
695	0,008	0,004	0
696	0,008	0,004	0
697	0,008	0,002	0
698	0,006	0,002	0
699	0,006	0,002	0
700	0,008	0,004	0
701	0,008	0,004	0
702	0,008	0,004	0
703	0,008	0,004	0
704	0,008	0,004	0
705	0,008	0,004	0
706	0,008	0,004	0
707	0,008	0,004	0
708	0,006	0,004	0
709	0,006	0,004	0
710	0,006	0,002	0
711	0,006	0,002	0
712	0,006	0,004	0
713	0,008	0,004	0
714	0,008	0,004	0
715	0,008	0,002	0
716	0,006	0,002	0
717	0,006	0,004	0
718	0,008	0,004	0
719	0,008	0,004	0
720	0,008	0,004	0
721	0,008	0,004	0
722	0,008	0,004	0
723	0,008	0,004	0
724	0,006	0,004	0
725	0,006	0,004	0
726	0,006	0,004	0
727	0,006	0,004	0
728	0,006	0,004	0
729	0,006	0,004	0
730	0,006	0,004	0
731	0,006	0,004	0
732	0,006	0,004	0
733	0,006	0,004	0
734	0,008	0,004	0

735	0,008	0,004	0
736	0,008	0,002	0
737	0,008	0,002	0
738	0,008	0,004	0
739	0,008	0,004	0
740	0,008	0,004	0
741	0,008	0,002	0
742	0,008	0,002	0
743	0,008	0,004	0
744	0,008	0,004	0
745	0,008	0,004	0
746	0,008	0,004	0
747	0,006	0,004	0
748	0,006	0,004	0
749	0,008	0,004	0
750	0,008	0,004	0
751	0,008	0,004	0
752	0,008	0,004	0
753	0,008	0,004	0
754	0,006	0,004	0
755	0,006	0,004	0
756	0,006	0,004	0
757	0,008	0,004	0
758	0,008	0,004	0
759	0,008	0,004	0
760	0,008	0,004	0
761	0,008	0,004	0
762	0,006	0,004	0
763	0,006	0,004	0
764	0,006	0,004	0
765	0,006	0,004	0
766	0,006	0,004	0
767	0,006	0,004	0
768	0,006	0,004	0
769	0,006	0,004	0
770	0,006	0,004	0
771	0,006	0,004	0
772	0,008	0,004	0
773	0,008	0,004	0
774	0,008	0,002	0
775	0,008	0,002	0
776	0,008	0,002	0
777	0,006	0,004	0

778	0,006	0,004	0
779	0,006	0,004	0
780	0,008	0,004	0
781	0,008	0,004	0
782	0,008	0,004	0
783	0,006	0,004	0,002
784	0,006	0,002	0,002
785	0,006	0,002	0,002
786	0,006	0,002	0
787	0,006	0,004	0
788	0,006	0,004	0
789	0,006	0,004	0
790	0,008	0,004	0
791	0,008	0,004	0,002
792	0,008	0,004	0,002
793	0,008	0,004	0
794	0,008	0,004	0
795	0,008	0,002	0
796	0,008	0,002	0
797	0,008	0,002	0
798	0,008	0,002	0
799	0,008	0,002	0
800	0,008	0,004	0
801	0,008	0,004	0
802	0,008	0,004	0
803	0,006	0,004	0
804	0,006	0,004	0
805	0,006	0,004	0
806	0,006	0,004	0
807	0,006	0,004	0
808	0,008	0,004	0
809	0,008	0,004	0
810	0,008	0,002	0
811	0,008	0,002	0
812	0,008	0,002	0
813	0,008	0,004	0
814	0,008	0,004	0
815	0,008	0,002	0
816	0,008	0,002	0
817	0,008	0,002	0
818	0,008	0,002	0
819	0,006	0,002	0
820	0,006	0,004	0

821	0,006	0,004	0
822	0,006	0,004	0
823	0,006	0,002	0
824	0,008	0,002	0
825	0,008	0,002	0
826	0,006	0,002	0
827	0,006	0,002	0
828	0,006	0,002	0
829	0,008	0,002	0
830	0,008	0,002	0
831	0,008	0,002	0
832	0,008	0,002	0
833	0,008	0,002	0
834	0,006	0,002	0
835	0,006	0,002	0
836	0,006	0,002	0
837	0,006	0,002	0
838	0,006	0,002	0
839	0,008	0,002	0
840	0,008	0,002	0
841	0,008	0,004	0
842	0,008	0,004	0
843	0,008	0,002	0
844	0,006	0,002	0
845	0,006	0,002	0
846	0,006	0,002	0
847	0,008	0,002	0
848	0,008	0,002	0
849	0,006	0,002	0
850	0,006	0,002	0
851	0,006	0,002	0
852	0,008	0,002	0
853	0,008	0,002	0
854	0,008	0,002	0
855	0,006	0,002	0
856	0,006	0,002	0
857	0,006	0,002	0
858	0,006	0,002	0
859	0,006	0	0
860	0,006	0	0
861	0,006	0,002	0
862	0,006	0,002	0
863	0,006	0,002	0

864	0,006	0,002	0
865	0,006	0,002	0
866	0,006	0	0
867	0,006	0	0
868	0,006	0	0
869	0,006	0	0
870	0,008	0	0
871	0,008	0	0
872	0,008	0	0
873	0,008	0	0
874	0,008	0	0
875	0,006	0	0
876	0,006	0	0
877	0,006	0,002	0
878	0,006	0,002	0
879	0,006	0	0
880	0,006	0	0
881	0,006	0	0
882	0,006	0	0
883	0,006	0	0
884	0,006	0,002	0
885	0,008	0,002	0
886	0,008	0,002	0
887	0,008	0	0
888	0,004	0	0
889	0,004	0	0
890	0,006	0	0
891	0,006	0	0
892	0,006	0,002	0
893	0,006	0,002	0
894	0,006	0,002	0
895	0,006	0	0
896	0,006	0	0
897	0,006	0	0
898	0,006	0	0
899	0,006	0	0
900	0,006	0	0
901	0,006	0	0
902	0,006	0	0
903	0,008	0	0
904	0,008	0	0
905	0,008	0	0
906	0,006	0	0



907	0,006	0	0
908	0,006	0	0
909	0,006	0	0
910	0,006	0	0
911	0,006	0	0
912	0,006	0	0
913	0,006	0,052	0
914	0,006	0,052	0
915	0,006	0,058	0
916	0,006	0,058	0
917	0,006	0,058	0
918	0,006	0,046	0
919	0,006	0,046	0
920	0,006	0,044	0
921	0,006	0,044	0
922	0,006	0,044	0
923	0,006	0,04	0
924	0,006	0,04	0
925	0,006	0,038	0
926	0,006	0,038	0
927	0,006	0,038	0
928	0,006	0,036	0
929	0,006	0,036	0
930	0,006	0,036	0
931	0,006	0,036	0
932	0,006	0,036	0
933	0,006	0,038	0
934	0,006	0,038	0
935	0,006	0,038	0
936	0,006	0,034	0
937	0,006	0,034	0
938	0,006	0,034	0
939	0,006	0,034	0
940	0,006	0,034	0
941	0,006	0,032	0
942	0,006	0,032	0
943	0,006	0,032	0
944	0,006	0,03	0
945	0,006	0,03	0
946	0,006	0,03	0
947	0,006	0,03	0
948	0,006	0,03	0
949	0,006	0,028	0

950	0,006	0,028	0
951	0,006	0,028	0
952	0,006	0,028	0
953	0,006	0,028	0
954	0,006	0,052	0
955	0,006	0,052	0
956	0,006	0,04	0
957	0,004	0,04	0
958	0,004	0,04	0
959	0,004	0,034	0
960	0,006	0,034	0
961	0,006	0,03	0
962	0,006	0,03	0
963	0,006	0,03	0
964	0,006	0,03	0
965	0,004	0,03	0
966	0,004	0,04	0
967	0,006	0,04	0
968	0,006	0,04	0
969	0,006	0,034	0
970	0,006	0,034	0
971	0,006	0,034	0
972	0,006	0,03	0
973	0,006	0,03	0
974	0,006	0,028	0
975	0,006	0,028	0
976	0,006	0,028	0
977	0,006	0,026	0
978	0,006	0,026	0
979	0,006	0,026	0
980	0,006	0,026	0
981	0,006	0,026	0
982	0,006	0,024	0
983	0,004	0,024	0
984	0,004	0,024	0
985	0,006	0,024	0
986	0,006	0,024	0
987	0,006	0,026	0
988	0,006	0,026	0
989	0,006	0,026	0
990	0,006	0,022	0
991	0,006	0,022	0
992	0,006	0,022	0

993	0,004	0,022	0
994	0,004	0,022	0
995	0,004	0,048	0
996	0,006	0,048	0
997	0,006	0,04	0
998	0,004	0,04	0
999	0,004	0,04	0
1000	0,004	0,032	0
1001	0,006	0,032	0
1002	0,006	0,026	0
1003	0,006	0,026	0
1004	0,006	0,026	0
1005	0,006	0,024	0
1006	0,006	0,024	0
1007	0,006	0,024	0
1008	0,006	0,022	0
1009	0,004	0,022	0
1010	0,004	0,02	0
1011	0,004	0,02	0
1012	0,004	0,02	0
1013	0,004	0,02	0
1014	0,004	0,02	0
1015	0,004	0,018	0
1016	0,006	0,018	0
1017	0,006	0,018	0
1018	0,006	0,018	0
1019	0,004	0,018	0
1020	0,004	0,018	0
1021	0,004	0,016	0
1022	0,004	0,016	0
1023	0,004	0,016	0
1024	0,006	0,016	0
1025	0,006	0,016	0
1026	0,006	0,014	0
1027	0,006	0,014	0
1028	0,006	0,014	0
1029	0,006	0,014	0
1030	0,006	0,014	0
1031	0,006	0,012	0
1032	0,006	0,012	0
1033	0,006	0,012	0
1034	0,006	0,012	0
1035	0,006	0,012	0
1036	0,006	0,012	0
1037	0,006	0,012	0
1038	0,006	0,012	0
1039	0,006	0,012	0
1040	0,006	0,012	0
1041	0,006	0,012	0
1042	0,006	0,012	0
1043	0,006	0,012	0
1044	0,006	0,01	0
1045	0,006	0,01	0
1046	0,006	0,012	0
1047	0,004	0,012	0
1048	0,004	0,012	0
1049	0,004	0,01	0
1050	0,006	0,01	0
1051	0,006	0,012	0
1052	0,006	0,012	0
1053	0,006	0,012	0
1054	0,006	0,008	0
1055	0,006	0,008	0
1056	0,006	0,008	0
1057	0,006	0,008	0
1058	0,006	0,008	0
1059	0,006	0,008	0
1060	0,004	0,008	0
1061	0,004	0,008	0
1062	0,006	0,008	0
1063	0,006	0,008	0
1064	0,006	0,008	0
1065	0,006	0,008	0
1066	0,006	0,008	0
1067	0,006	0,008	0
1068	0,004	0,008	0
1069	0,004	0,008	0
1070	0,006	0,008	0
1071	0,006	0,008	0
1072	0,006	0,008	0
1073	0,004	0,008	0
1074	0,004	0,008	0
1075	0,006	0,008	0
1076	0,006	0,008	0
1077	0,006	0,008	0
1078	0,004	0,008	0

1079	0,004	0,008	0
1080	0,004	0,008	0
1081	0,004	0,008	0
1082	0,004	0,008	0
1083	0,004	0,008	0
1084	0,004	0,008	0
1085	0,004	0,008	0
1086	0,004	0,008	0
1087	0,004	0,006	0
1088	0,004	0,006	0
1089	0,004	0,006	0
1090	0,004	0,006	0
1091	0,004	0,006	0
1092	0,004	0,008	0
1093	0,004	0,008	0
1094	0,004	0,008	0
1095	0,004	0,006	0
1096	0,004	0,006	0
1097	0,004	0,006	0
1098	0,004	0,006	0
1099	0,004	0,006	0
1100	0,004	0,008	0
1101	0,004	0,008	0
1102	0,004	0,008	0
1103	0,004	0,006	0
1104	0,004	0,006	0
1105	0,004	0,006	0
1106	0,004	0,006	0
1107	0,004	0,006	0
1108	0,004	0,008	0
1109	0,004	0,008	0
1110	0,004	0,006	0
1111	0,002	0,006	0
1112	0,002	0,006	0
1113	0,002	0,006	0
1114	0,004	0,006	0
1115	0,004	0,008	0
1116	0,004	0,008	0
1117	0,004	0,008	0
1118	0,004	0,008	0
1119	0,004	0,008	0
1120	0,004	0,008	0
1121	0,004	0,006	0

1122	0,004	0,006	0
1123	0,004	0,006	0
1124	0,002	0,006	0
1125	0,002	0,006	0
1126	0,002	0,006	0
1127	0,002	0,006	0
1128	0,002	0,006	0
1129	0	0,006	0
1130	0	0,006	0
1131	0	0,006	0
1132	0,002	0,006	0
1133	0,002	0,006	0
1134	0,002	0,006	0
1135	0,002	0,006	0
1136	0,002	0,008	0
1137	0,002	0,008	0
1138	0,002	0,008	0
1139	0,002	0,004	0
1140	0,002	0,004	0
1141	0	0,006	0
1142	0	0,006	0
1143	0	0,006	0
1144	0	0,006	0
1145	0	0,006	0
1146	0	0,006	0
1147	0	0,006	0
1148	0	0,006	0
1149	0	0,006	0
1150	0	0,006	0
1151	0	0,006	0
1152	0	0,006	0
1153	0	0,006	0
1154	0	0,006	0
1155	0	0,006	0
1156	0	0,006	0
1157	0	0,006	0
1158	0	0,006	0
1159	0	0,006	0
1160	0	0,006	0
1161	0	0,006	0
1162	0	0,006	0
1163	0	0,006	0
1164	0	0,006	0

1165	0	0,006	0
1166	0	0,006	0
1167	0	0,006	0
1168	0	0,006	0
1169	0	0,006	0
1170	0	0,006	0
1171	0	0,006	0
1172	0	0,006	0
1173	0	0,006	0
1174	0	0,004	0
1175	0	0,004	0
1176	0	0,004	0
1177	0	0,006	0
1178	0	0,006	0
1179	0	0,006	0
1180	0	0,006	0
1181	0	0,006	0
1182	0	0,006	0
1183	0	0,006	0
1184	0	0,006	0
1185	0	0,004	0
1186	0	0,004	0
1187	0	0,006	0
1188	0	0,006	0
1189	0	0,006	0
1190	0	0,006	0
1191	0	0,006	0
1192	0	0,004	0
1193	0	0,004	0
1194	0	0,004	0
1195	0	0,004	0
1196	0	0,004	0
1197	0	0,004	0
1198	0	0,004	0
1199	0	0,004	0
1200	0	0,004	0

## 2.1 Perhitungan gaya seret atau *Drag* pada regulator $d_o = 3 \text{ mm}$

Skala rotameter cm	Temperatur	Tekanan		Density	Viscosity	Laju Massa	Kecepatan	Bilangan Reynold	Gaya <i>Drag</i>
	C T	barg PGAUGE	bara PABS	( $\text{kg/m}^3$ ) $\rho$	( $\mu\text{Pa-s}$ ) $\mu$	gr/s m	m/s v		N Fd
8	28,122	0,0268	1,0308	2,1506	18,953	0,038	0,4593653	364,86982	3,86607E-05
10	26,853	0,0253	1,0293	2,1571	7,8727	0,057	0,6829543	1309,8943	2,38753E-05
12	25,907	0,0251	1,0291	2,164	7,848	0,074	0,8890143	1715,9516	3,09814E-05
14	23,852	0,0241	1,0281	2,178	7,7944	0,104	1,2362786	2418,1853	4,27891E-05
16	24,704	0,0233	1,0273	2,1695	7,8166	0,110	1,3181575	2560,9854	4,57529E-05
18	24,251	0,0226	1,0266	2,1716	7,8048	0,128	1,5338691	2987,4758	5,31599E-05
20	18,492	0,0216	1,0256	2,2158	7,6547	0,146	1,7129968	3471,0189	5,82262E-05
22	23,336	0,0215	1,0255	2,1765	7,781	0,175	2,0903242	4092,9358	7,22242E-05
24	23,138	0,0202	1,0242	2,175	7,7758	0,182	2,1754364	4259,4999	7,51147E-05
26	22,948	0,0191	1,0231	2,1742	7,7709	0,208	2,4911136	4878,8756	8,59604E-05
28	23,257	0,0179	1,0219	2,1693	7,7789	0,218	2,6125893	5100,0051	9,0245E-05
30	22,906	0,0168	1,0208	2,1696	7,7698	0,236	2,8279166	5527,5727	9,75686E-05

## 2.2 Perhitungan gaya seret atau *Drag* pada regulator $d_o = 3,25 \text{ mm}$

Skala rotameter cm	Temperatur		Tekanan		Density	Viscosity	Laju Massa	Kecepatan	Bilangan Reynold Re	Gaya Drag
	C	T	barg	bara	(kg/m <sup>3</sup> )	( $\mu$ Pa-s)	gr/s	m/s		N
			PGAUGE	PABS	$\rho$	$\mu$	m	v		Fd
8	29,552		0,0253	1,0293	2,1365	7,9431	0,036	0,3827769	772,1824	5,68498E-06
10	27,796		0,0249	1,0289	2,1489	7,8973	0,063	0,6639451	1354,9741	9,80402E-06
12	26,561		0,0245	1,0285	2,1575	7,8651	0,092	0,9622069	1979,5946	1,41503E-05
14	25,978		0,0243	1,0283	2,1616	7,8499	0,099	1,0372124	2142,102	1,52239E-05
16	25,641		0,0237	1,0277	2,163	7,8411	0,119	1,2505966	2587,367	1,83353E-05
18	25,398		0,0230	1,0270	2,1635	7,8348	0,135	1,4131384	2926,6779	2,07017E-05
20	25,221		0,0225	1,0265	2,1638	7,8301	0,144	1,5117903	3133,3046	2,21336E-05
22	25,063		0,0221	1,0261	2,1641	7,826	0,171	1,789479	3711,2939	2,61854E-05
24	24,848		0,0216	1,0256	2,1648	7,8204	0,192	2,0051027	4162,8111	2,93197E-05
26	24,636		0,0211	1,0251	2,1653	7,8149	0,207	2,1650109	4499,0001	3,16357E-05
28	24,269		0,0208	1,0248	2,1675	7,8053	0,222	2,3218609	4835,7848	3,38859E-05
30	24,207		0,0193	1,0233	2,1648	7,8037	0,243	2,5421215	5289,0149	3,70928E-05

### 2.3 Perhitungan gaya seret atau *Drag* pada regulator $d_o = 3,5 \text{ mm}$

Skala rotameter cm	Temperatur	Tekanan		Density	Viscosity	Laju Massa	Kecepatan	Bilangan Reynold Re	Gaya Drag
	C	barg	bara	(kg/m <sup>3</sup> )	(μPa-s)	gr/s	m/s		N
	T	PGAUGE	PABS	ρ	μ	m	v		Fd
8	28,752	0,0377	1,0417	2,1688	7,9222	0,072222	0,8183078	1612,9574	4,7937E-06
10	26,996	0,0369	1,0409	2,1808	7,8764	0,082	0,9239817	1841,9759	5,38146E-06
12	25,761	0,0369	1,0409	2,1906	7,8442	0,105556	1,1840863	2380,8404	6,86817E-06
14	25,176	0,0367	1,0407	2,1948	7,8289	0,11	1,2315813	2485,9351	7,12972E-06
16	24,896	0,0362	1,0402	2,196	7,8216	0,130556	1,4609265	2953,2322	8,44953E-06
18	24,389	0,0363	1,0403	2,2002	7,8084	0,138	1,5412826	3126,9064	8,89924E-06
20	24,019	0,0362	1,0402	2,2028	7,7988	0,169444	1,8902429	3844,1241	1,09007E-05
22	23,875	0,0365	1,0405	2,2047	7,795	0,166	1,8502224	3767,8171	1,06647E-05
24	23,704	0,0361	1,0401	2,2052	7,7906	0,191667	2,1358166	4352,8483	1,23039E-05
26	23,500	0,0354	1,0394	2,2053	7,7853	0,194	2,1617198	4408,8388	1,24447E-05
28	23,447	0,0351	1,0391	2,205	7,7839	0,225	2,5074904	5114,2637	1,44326E-05
30	23,400	0,0350	1,0390	2,2052	7,7827	0,222	2,4738328	5046,8516	1,42367E-05

### 3.1 Pengujian bola gotri terhadap aliran balik pada regulator do = 3 mm

Debit (L/s) waktu (s)	Tekanan (barg)												
	0,100	0,083	0,071	0,063	0,056	0,050	0,045	0,042	0,038	0,036	0,033	0,031	0,029
1	0	0	0	0,002	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0	0	0
2	0,046	0,012	0,022	0,002	0,006	0,006	0,004	0,002	0,002	0,002	0,006	0,004	0,004
3	0,046	0,012	0,022	0,018	0,006	0,006	0,004	0,014	0,012	0,004	0,006	0,006	0,006
4	0,046	0,052	0,052	0,018	0,006	0,006	0,004	0,026	0,018	0,018	0,008	0,008	0,008
5	0,118	0,052	0,052	0,018	0,024	0,024	0,016	0,026	0,020	0,024	0,008	0,008	0,008
6	0,118	0,052	0,052	0,034	0,024	0,024	0,016	0,028	0,024	0,028	0,016	0,008	0,008
7	0,178	0,092	0,08	0,034	0,05	0,05	0,032	0,028	0,026	0,030	0,016	0,008	0,008
8	0,178	0,092	0,08	0,062	0,05	0,05	0,032	0,030	0,028	0,030	0,016	0,008	0,008
9	0,178	0,126	0,106	0,062	0,05	0,05	0,032	0,032	0,028	0,032	0,018	0,016	0,008
10	0,232	0,126	0,106	0,062	0,072	0,072	0,048	0,030	0,026	0,032	0,018	0,016	0,01
11	0,232	0,126	0,106	0,09	0,072	0,072	0,048	0,032	0,028	0,032	0,018	0,018	0,01
12	0,288	0,164	0,136	0,09	0,092	0,092	0,064	0,032	0,030	0,032	0,018	0,018	0,008
13	0,288	0,164	0,136	0,116	0,092	0,092	0,064	0,032	0,030	0,030	0,018	0,018	0,01
14	0,288	0,2	0,136	0,116	0,092	0,092	0,064	0,034	0,030	0,030	0,02	0,02	0,008
15	0,346	0,2	0,158	0,116	0,116	0,116	0,08	0,034	0,030	0,030	0,02	0,02	0,012
16	0,346	0,2	0,158	0,146	0,116	0,116	0,08	0,030	0,030	0,028	0,022	0,022	0,014
17	0,346	0,23	0,182	0,146	0,138	0,138	0,094	0,034	0,032	0,028	0,022	0,022	0,014
18	0,386	0,23	0,182	0,168	0,138	0,138	0,094	0,030	0,030	0,028	0,022	0,022	0,018
19	0,407	0,26	0,182	0,168	0,138	0,138	0,094	0,034	0,032	0,028	0,022	0,022	0,014



20	0,428	0,26	0,208	0,168	0,156	0,156	0,11	0,034	0,032	0,030	0,024	0,022	0,016
----	-------	------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

### 3.2 Pengujian bola gotri terhadap aliran balik pada regulator do = 3,25 mm

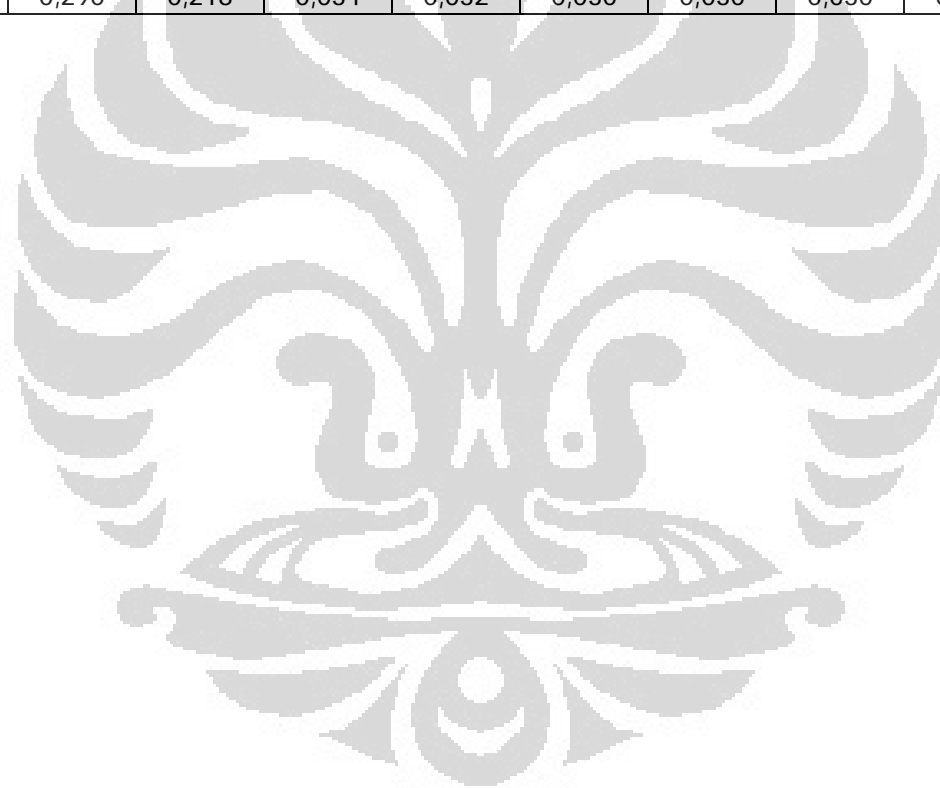
Debit (L/s) waktu (s)	Tekanan (barg)												
	0,100	0,083	0,071	0,063	0,056	0,050	0,045	0,042	0,038	0,036	0,033	0,031	0,029
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,004	0,004	0,002	0,004	0,004	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004	0,002
3	0,022	0,014	0,010	0,020	0,006	0,008	0,006	0,004	0,009	0,014	0,004	0,012	0,006
4	0,041	0,029	0,024	0,028	0,016	0,020	0,018	0,018	0,021	0,024	0,018	0,018	0,010
5	0,069	0,047	0,032	0,032	0,024	0,024	0,024	0,024	0,026	0,028	0,024	0,024	0,012
6	0,100	0,063	0,044	0,040	0,022	0,026	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,030	0,012
7	0,123	0,074	0,064	0,048	0,026	0,026	0,028	0,030	0,029	0,028	0,030	0,026	0,016
8	0,157	0,090	0,076	0,062	0,030	0,028	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,028	0,014
9	0,185	0,107	0,102	0,078	0,030	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,030	0,014
10	0,213	0,123	0,120	0,094	0,030	0,030	0,032	0,032	0,031	0,030	0,032	0,030	0,014
11	0,240	0,139	0,142	0,110	0,028	0,030	0,032	0,032	0,033	0,034	0,032	0,030	0,014
12	0,268	0,155	0,162	0,128	0,030	0,034	0,034	0,032	0,032	0,032	0,032	0,028	0,014
13	0,293	0,171	0,180	0,142	0,034	0,032	0,032	0,030	0,031	0,032	0,030	0,030	0,014
14	0,320	0,188	0,196	0,158	0,030	0,032	0,034	0,030	0,032	0,034	0,030	0,026	0,014
15	0,345	0,200	0,212	0,180	0,032	0,034	0,032	0,030	0,031	0,032	0,030	0,028	0,014
16	0,372	0,214	0,232	0,196	0,030	0,030	0,030	0,028	0,029	0,030	0,028	0,026	0,014
17	0,399	0,226	0,252	0,204	0,032	0,030	0,030	0,028	0,031	0,034	0,028	0,024	0,014
18	0,425	0,241	0,268	0,218	0,032	0,030	0,030	0,028	0,029	0,030	0,028	0,026	0,016

19	0,451	0,253	0,284	0,234	0,034	0,030	0,030	0,028	0,029	0,030	0,028	0,028	0,018
20	0,480	0,270	0,294	0,248	0,034	0,032	0,032	0,030	0,030	0,030	0,030	0,028	0,014

### 3.3 Pengujian bola gotri terhadap aliran balik pada regulator do = 3,5 mm

Debit (L/s) waktu (s)	Tekanan (barg)												
	0,100	0,083	0,071	0,063	0,056	0,050	0,045	0,042	0,038	0,036	0,033	0,031	0,029
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,004	0,004	0,016	0,002	0,012	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004	0,002
3	0,016	0,024	0,024	0,014	0,020	0,012	0,008	0,004	0,004	0,004	0,012	0,010	0,006
4	0,046	0,040	0,030	0,024	0,024	0,018	0,020	0,018	0,018	0,018	0,018	0,014	0,010
5	0,084	0,064	0,034	0,026	0,024	0,020	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,018	0,012
6	0,122	0,094	0,038	0,030	0,028	0,024	0,026	0,026	0,028	0,026	0,030	0,020	0,012
7	0,158	0,112	0,050	0,032	0,028	0,026	0,026	0,028	0,030	0,028	0,026	0,020	0,016
8	0,186	0,148	0,064	0,034	0,030	0,028	0,028	0,030	0,030	0,030	0,028	0,020	0,014
9	0,222	0,174	0,086	0,036	0,032	0,028	0,032	0,030	0,032	0,030	0,030	0,022	0,014
10	0,258	0,200	0,106	0,044	0,032	0,026	0,030	0,030	0,032	0,030	0,030	0,024	0,014
11	0,294	0,224	0,128	0,064	0,034	0,028	0,030	0,030	0,032	0,030	0,030	0,020	0,014
12	0,334	0,248	0,144	0,082	0,034	0,030	0,034	0,030	0,032	0,030	0,028	0,020	0,014
13	0,362	0,272	0,166	0,098	0,034	0,030	0,032	0,030	0,030	0,028	0,030	0,020	0,014
14	0,402	0,296	0,186	0,116	0,032	0,030	0,032	0,030	0,030	0,028	0,026	0,020	0,014
15	0,436	0,318	0,204	0,130	0,034	0,030	0,030	0,030	0,030	0,028	0,028	0,024	0,014

16	0,472	0,342	0,222	0,154	0,034	0,030	0,030	0,028	0,028	0,030	0,026	0,020	0,014
17	0,508	0,366	0,240	0,164	0,034	0,032	0,028	0,028	0,028	0,030	0,024	0,020	0,014
18	0,544	0,390	0,256	0,182	0,034	0,030	0,028	0,028	0,028	0,028	0,026	0,021	0,016
19	0,580	0,412	0,274	0,200	0,034	0,032	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,024	0,018
20	0,614	0,440	0,290	0,218	0,034	0,032	0,030	0,030	0,030	0,028	0,028	0,021	0,014



## Interpolasi *spline* kubik

Interpolasi kubik *spline* dilakukan untuk mendapatkan suatu dengan data dengan parameter tertentu pada fungsi kubik yang diberikan pada setiap interval  $(x, x_{i+1})$ . Sehingga, jika terdapat  $n$  titik dimana fungsi tersebut mempunyai nilai yang ditabulasi menjadi  $x_1, x_2, \dots, x_n$  dimana terdapat  $(n - 1)$  interval dan terdapat  $(n - 1)$  *spline* kubik  $f_1(x), f_2(x), \dots, f_{n-1}(x)$ . Fungsi  $f_1(x)$  merupakan kubik untuk interval  $(x_1, x_2)$  dan  $f_{n-1}(x)$  merupakan kubik untuk interval  $(x_{n-1}, x_n)$ .

Persamaan polinomial untuk setiap interval didapatkan dengan cara mencari turunan kedua  $f_i(x)$  garis lurus pada setiap interval. Persamaan turunan kedua dapat direpresentasikan oleh:

$$f_i''(x) = a_i \frac{x - x_{i+1}}{x_i - x_{i+1}} + a_{i+1} \frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i} \quad i = 1 \text{ sampai } n-1 \quad (i)$$

dimana  $a_i = f''(x_i)$  dan  $a_{i+1} = f''(x_{i+1})$

Integrasi dua kali persamaan (i) akan didapatkan

$$f_i(x) = \frac{f''(x_i)(x-x_{i+1})^3}{6(x_i-x_{i+1})} + \frac{f''(x_{i+1})(x-x_i)^3}{6(x_{i+1}-x_i)} + A(x-x_i) + B(x-x_{i+1}) \quad (ii)$$

dimana A dan B merupakan konstanta integrasi yang harus ditentukan. A dan B ditentukan dengan mensubstitusikan nilai  $f_i(x)$  pada  $x = x_i$  dan  $x = x_{i+1}$  yang merupakan titik tabulasi.

$$f_i(x) = \frac{f''(x_i)(x-x_{i+1})^3}{6(x_i-x_{i+1})} + \frac{f''(x_{i+1})(x-x_i)^3}{6(x_{i+1}-x_i)} + \left[ \frac{f(x_{i+1})}{(x_{i+1}-x_i)} - \frac{f''(x_{i+1})}{6} (x_{i+1} - x_i) \right] (x - x_i) \\ + \left[ \frac{f(x_i)}{(x_i-x_{i+1})} - \frac{f''(x_i)}{6} (x_i - x_{i+1}) \right] (x - x_{i+1}) \\ (i = 1, 2, \dots, n-1) \quad (iii)$$

Diferensiasi persamaan (ii) dan mengatur  $f_i'(x)$  dan  $f_{i+1}'(x)$  untuk setiap titik  $x$  didapatkan :

$$(x_{i+1}-x_i)f''(x_i) + 2(x_{i+2} - x_i)f''(x_{i+1}) + (x_{i+2} - x_{i+1})f''(x_{i+2}) = \frac{6}{(x_{i+2}-x_{i+1})} [f(x_{i+2}) - f(x_{i+1})] - \frac{6}{(x_{i+1}-x_i)} [f(x_{i+1}) - f(x_i)] \quad \text{untuk } (i = 1 \text{ ke } n-2) \quad (iv)$$

Contoh perhitungan :

Penentuan waktu penutupan bola gotri pada saluran keluar regulator  $d_o = 3,5$  mm ketika diberi laju aliran balik 0,1 L/s.

Berdasarkan eksperimen diketahui, bola gotri akan mulai menutup pada tekanan 0,034 barg. Sehingga dibuat persamaan kubik antara hubungan tekanan dan waktu untuk mendapatkan waktu penutupan ketika tekanan mencapai 0,034 barg. Nilai  $x$  dan  $f(x)$  disesuaikan dengan hasil eksperimen sebelumnya.

<b>x</b>	0,004	0,122	0,258	0,402	0,544
<b>f(x)</b>	2	6	10	14	18

Berdasarkan persamaan (iv) didapatkan:

$$0,118f''(x_1) + 0,508 f''(x_2) + 0,136 f''(x_3) = -26,9192$$

$$0,136f''(x_2) + 0,56 f''(x_3) + 0,144 f''(x_4) = -9,8039$$

$$0,144f''(x_3) + 0,572f''(x_4) + 0,142 f''(x_5) = 2,3474$$

Dengan mengasumsikan  $f''(x_1) = 0$  dan  $f''(x_5) = 0$ , didapatkan:

$$f''(x_3) = -5,6915$$

$$f''(x_2) = -51,4669$$

$$f''(x_4) = -44,51$$

Sehingga, untuk mendapatkan waktu ketika tekanan sebesar 0,034 barg, hasil diatas diolah menggunakan persamaan (iii),

$$f_i(x) = \frac{f''(x_i)(x-x_{i+1})^3}{6(x_i-x_{i+1})} + \frac{f''(x_{i+1})(x-x_i)^3}{6(x_{i+1}-x_i)} + \left[ \frac{f(x_{i+1})}{(x_{i+1}-x_i)} - \frac{f''(x_{i+1})}{6} (x_{i+1} - x_i) \right] (x - x_i) + \left[ \frac{f(x_i)}{(x_i-x_{i+1})} - \frac{f''(x_i)}{6} (x_i - x_{i+1}) \right] (x - x_{i+1})$$

$$f_1(0,0034) = \frac{f''(x_2)(x-x_1)^3}{6(x_2-x_1)} + \left[ \frac{f(x_2)}{(x_2-x_1)} - \frac{f''(x_2)}{6} (x_2 - x_1) \right] (x - x_1) + \frac{f(x_1)}{(x_2-x_2)} (x - x_{i+1})$$

$$f_1(0,0034) = 3,114754 \text{ detik}$$

Jadi, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tekanan 0,034 barg atau ketika bola gotri mulai menutup adalah 3,1147 detik.

