



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KAJIAN EKSPERIMENTAL KESTABILAN OPERASI KATUP  
REGULATOR GAS LPG TERHADAP KEMUNGKINAN  
TERJADI “LOCK UP”**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**Rechman Sinurat**

**0806330440**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JANUARI 2012**

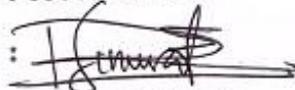
## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Rechman Sinurat

NPM : 0806330440

Tanda Tangan



Tanggal : 26 Januari 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Rechman Sinurat  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Kajian eksperimental kestabilan operasi katup regulator gas LPG terhadap kemungkinan terjadinya "lock up"

**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 : Prof. Dr. Ir. I Made Kartika, Dipl. Ing  
Penguji : Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc., Ph.D  
Penguji : Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng  
Penguji : Dr. Ir. Adi Surjosatyo, M.Eng



Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 6 januari 2012

## UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa, karena atas berjat dan rahmatNya lah saya bisa menyelesaikan penulisan skripsi ini. Penulisan Skripsi yang berjudul “Kajian Eksperimental Kestabilan Perasi Katup Regulator Gas Lpg Terhadap Kemungkinan Terjadi Lock Up” ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan guna mencapai gelar Sarjana Teknik dari Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Saya berharap agar skripsi ini dapat menjadi penambah wawasan bagi semua pihak, serta menjadi salah satu sudut pandang ilmiah mengenai isu terkait, terutama untuk pihak-pihak yang akan melanjutkan penelitian serupa. Saya juga menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki begitu banyak kekurangan dan kelemahan, Sehingga saya sangat mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun dan memperbaiki skripsi ini. Penyelesaian skripsi ini tentunya tidak terlepas dari bantuan, saran, bimbingan, dan ilmu dari berbagai pihak. Oleh karena itu saya juga ingin mengucapkan ucapan terima kasih kepada:

1. Kedua orangtuaku, Lebanus Sinurat dan Rosname Silitonga, yang membesarkan saya sehingga saya bisa menjadi hebat seperti sekarang. Memberikan perhatian dan semangat setiap saat.
2. Ketiga saudara saya, Rojius Sinurat, Lawrita Sinurat dan Michael Sinurat yang menjadi teman dan penyemangat saya mulai dari saya kecil.
3. Prof. Dr. IR. I Made Kartika D, Dipl -ing, sebagai dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk membantu saya dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng selaku dekan FTUI, dan seluruh dosen serta pegawai Departemen Teknik Mesin UI yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Sahabat saya Dhora Sihombing yang selalu memberi perhatian dan semangat kepada saya.

6. Teman seperjuangan saya di mesin, Eko hutajulu, Karyadi Gunawan, Mikhail, Ferdy Bastian, Refliwanto, Frisman yang telah memberi banyak masukan pada masa-masa kuliah.
7. Teman satu kontrakan saya, Hendra Napitupulu, Eky Sinaga, Dony Sirait, dan Jonas Hasibuan, Adithya Hasibuan, dan Evan Sumbayak.
8. Teman-teman satu angkatan 2008 SMA RK Budi Mulia Pematangsiantar.
9. Sahabat-sahabat saya yang berasal dari Sumatra utara (Geropazer) yang telah bersama-sama dalam dunia perkuliahan selama empat tahun ini.

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

Depok, 26 Januari 2012

Penulis

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

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

Nama : Rechman Sinurat

NPM : 0806330440

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

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

**KAJIAN EKSPERIMENTAL KESTABILAN OPERASI KATUP  
REGULATOR GAS LPG TERHADAP KEMUNGKINAN TERJADINYA  
“LOCK UP”**

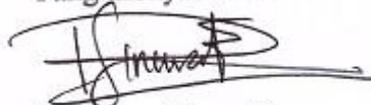
berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 26 Januari 2012

Yang menyatakan



(Rechman Sinurat)

## ABSTRAK

Nama : Rechman Sinurat

Program studi : Teknik mesin

Judul : Kajian eksperimental kestabilan operasi katup regulator gas LPG terhadap kemungkinan terjadi “lock up”

Regulator yang kita gunakan untuk tabung gas LPG adalah regulator tekanan rendah yang beroperasi pada tekanan masuk 7 bar dan tekanan keluar maksimal 41 mbar. Diluar tekanan tersebut akan terjadi *lock up* atau menutupnya katup secara otomatis apabila tekanan sudah melebihi tekanan desain.

Regulator tabung LPG merupakan sebuah katup kontrol (*safety valve*) dengan tipe diafragma. Regulator akan mengatur tekanan yang keluar dari regulator hingga mencapai tekanan atmosfer. aliran LPG yang mengalir dari tabung adalah aliran dua fase yaitu cair dan gas. LPG merupakan campuran dari berbagai unsur Hidrokarbon yang berasal dari penyulingan Minyak Mentah dan masih berbentuk Gas. Dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya, gas berubah menjadi cair, sehingga dapat disebut sebagai Bahan Bakar Gas Cair.

Dalam penelitian ini akan dilihat bagaimana kestabilan regulator terhadap perubahan kecepatan aliran LPG. Perubahan kecepatan aliran gas sangat mempengaruhi besarnya tekanan yang keluar dan masuk regulator. hal ini diakibatkan adanya hukum kesetimbangan energi.. Tekanan dari energi statik dirubah menjadi energi kinetik berupa kecepatan. Perubahan kecepatan aliran gas ini dalam kehidupan sehari-hari terjadi saat kita memutar knop pada kompor gas untuk memperbesar atau mengecilkan api. Hasil dari penelitian ini akan dibandingkan dengan data dari Standar nasional Indonesia (SNI) sehingga dapat dilihat bagaimana kinerja dari regulator yang kita gunakan.

Kata kunci: regulator tekanan rendah, aliran dua fase, gas LPG

## ABSTRACT

Name : Rechman Sinurat  
Major : Teknik Mesin  
Tittle : Experimental study of the stability of LPG gas regulator valve to "lock up" Possibility

Regulators that we use for LPG gas cylinders are low pressure regulator that operates at inlet pressure for 7 bar and outlet maximum pressure of 41 mbar. When the pressure reach outside that range, lock up will occur. Lock up is the condition when the valve shut automatically if the pressure exceeds the design pressure.

Regulator of LPG cylinders is a safety valve with a diaphragm type. Regulator will regulate the pressure that comes out of the regulator until it reaches atmospheric pressure. LPG stream that flows from the cylinders is a two-phase flow of liquid and gas. LPG gas is a mixture of various elements Hydrocarbon derived from refining crude oil and still shaped oil. By increasing pressure and decreasing temperature, the gas turns into liquid, so it can be referred to as Liquid Fuel Gas.. Two-phase flow has a more complex aspects as compared with single-phase flow. There are two types of fluid moving at different speeds in a single stream.

In this study will be seen how the stability of the regulator to the LPG flow rate changes. Changes in gas flow rate greatly affects the magnitude of the outgoing and incoming pressure of regulator. This caused by the equilibrium law of energy, where energy cannot be created or destroyed and only be converted into other forms. The pressure of the static energy is converted into kinetic energy in the form of speed. The results of this study will be compared with data from the National Standards of Indonesia (SNI) to be seen how the performance of the regulator that we use every day.

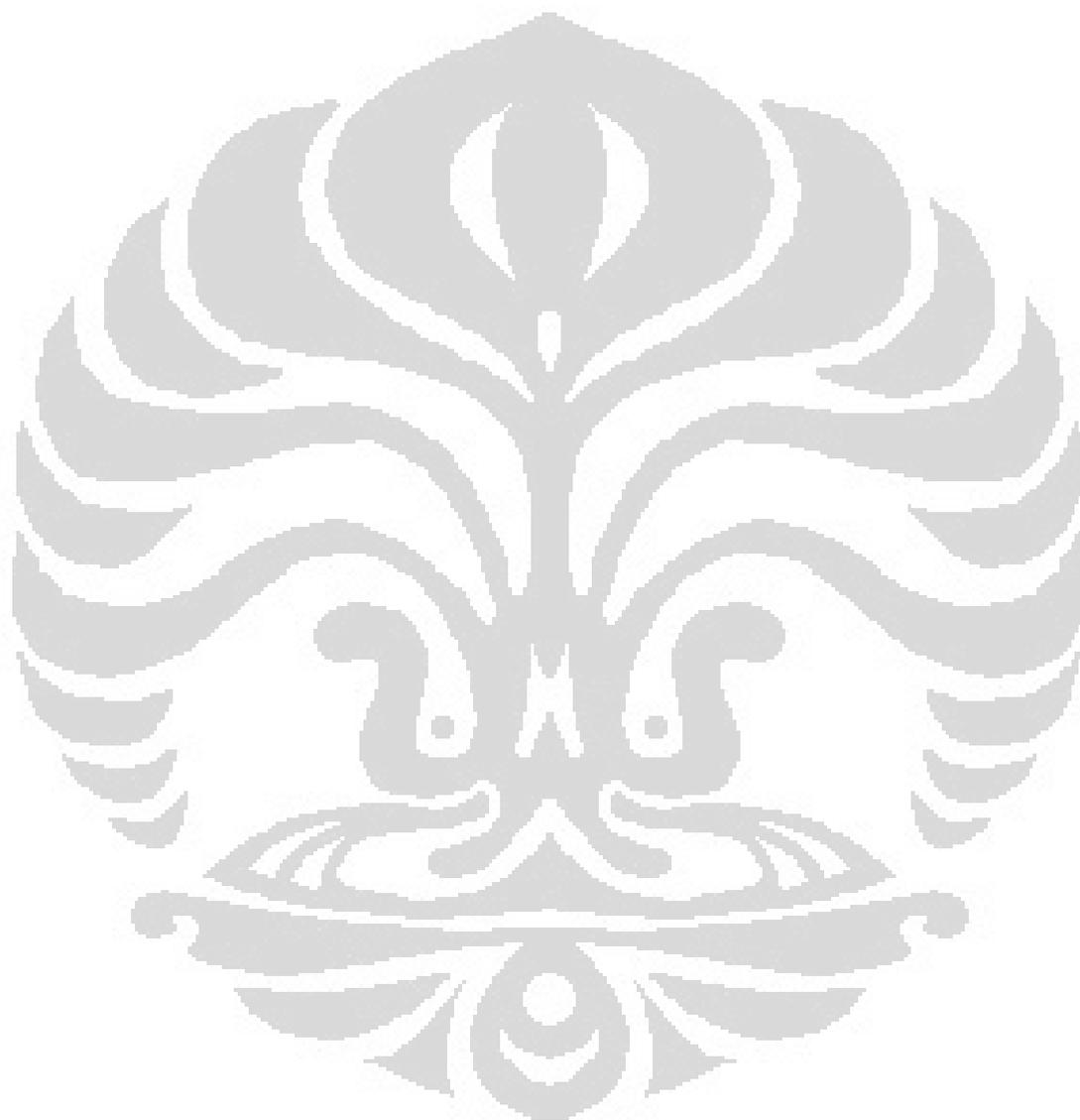
Keyword: low pressure regulator, two-phase flow, LPG

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	vi
ABSTRAK .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
Daftar Gambar .....	xii
Daftar Grafik .....	xii
Daftar tabel .....	xii
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2. Perumusan Masalah .....	3
I.3. Tujuan Penelitian .....	4
I.4 Batasan Masalah .....	4
I.5 Metodologi Penelitian .....	4
I.6. Sistematika Penulisan .....	5
BAB II .....	7
LANDASAN TEORI .....	7
II.1. Sifat Dasar Fluida .....	7
II.1.1. Kerapatan (density) .....	7
II.1.2. Tekanan (pressure) .....	8
II.3 Persamaan Kontinuitas .....	10
II.4 LPG (Liquefied Petroleum Gas) .....	11
II.5.1 SIFAT-SIFAT GAS LPG .....	13
II.5.1.1 Perubahan fase Gas LPG .....	13
II.5.1.2 Perubahan volume terhadap temperature .....	13
II.5.1.3 Temperatur dan tekanan uap ( <i>vapor pressure</i> ) .....	14
II.5.2 Komponen LPG .....	14
II.5.2.1 Butana .....	14
II.5.2.2 Propana .....	15
II.6 Pencampuran Gas .....	16
II.7 Aliran Dua-Fasa .....	17
II.7.1 Model Aliran dua Fasa .....	18

II.7.2.1 Model Homogen .....	18
II.7.2.2 Model Aliran Terpisah .....	20
II.8. Aliran Dua Fase Melewati Pengecilan Penampang.....	20
II.9 Relief Valve .....	22
II.9.1 Pilot-operated Pressure Relief Valve .....	23
II.9.2 tipe diafragma .....	24
II.9.3 Analisis penyebab Terjadinya Overpressure .....	24
BAB III.....	26
METODOLOGI.....	26
III.1. Peralatan Penelitian .....	26
III.1.1 Tabung gas LPG .....	26
III.1.2. Regulator.....	26
III.1.3 selang .....	28
III.1.4 Swirling Nozzle .....	29
III.1.5 pipa Akrilik .....	30
III.1.6 Pressure Transducer.....	30
III.1.7 Rotameter .....	31
III.1.8 Bunsen Burner .....	32
III.2 Metodologi Pengambilan Data .....	33
III.2.1 Skema Peralatan Penelitian .....	33
III.2.2 Prosedur Percobaan .....	33
III.2.2.1 Persiapan alat uji.....	33
III.2.2.2 Pengukuran tekanan dan temperature.....	34
BAB IV .....	35
ANALISA .....	35
IV. 1 Analisa Perhitungan .....	35
IV.1.1 Menghitung densitas LPG pada fasa Gas dan Liquid .....	35
IV.1.2 Menghitung Viskositas LPG pada fasa Gas dan Liquid.....	36
IV.1.3 Menghitung Densitas Aliran LPG Yang Homogen .....	37
IV.1.4 Menghitung Kecepatan Aliran Dua Fase (Kecepatan <i>Vapour</i> atau <i>Liquid</i> )	38
IV.1.5 Menghitung besarnya koefisien gradien tekanan yang terjadi sepanjang aliran pipa.....	40
IV.2. Analisa grafik.....	41

BAB V.....	50
KESIMPULAN .....	50
DAFTAR PUSTAKA .....	51
LAMPIRAN .....	52



## Daftar Gambar

Gambar 2.1 Pengukuran tekanan.....	9
Gambar 2.2 persamaan kontinuitas aliran pada pipa .....	10
Gambar 2.3 model aliran terpisah.....	20
Gambar 2.4 garis aliran pada kontraksi saluran .....	21
Gambar 3.1 Tabung gas LPG 3 kg .....	26
Gambar 3.2 Diameter dalam penyambung katup tabung baja .....	27
Gambar 3.3 Dimensi Bagian saluran masuk .....	28
Gambar 3.4 Swirling Nozzle .....	29
Gambar 3.5 Pressure Transducer.....	31
Gambar 3.5 cara kerja Rotameter .....	32

## Daftar Grafik

Grafik 4.1 kestabilan Regulator pada sudut $0^{\circ}$ .....	42
Grafik 4.2 kestabilan Regulator pada sudut $30^{\circ}$ .....	43
Grafik 4.3 kestabilan Regulator pada sudut $60^{\circ}$ .....	44
Grafik 4.1 kestabilan Regulator pada sudut $90^{\circ}$ .....	45

## Daftar Tabel

Tabel 4.1 volume cairan pada akrilik.....	38
Tabel 4.2 Data percobaan pada sudut tabung LPG $0^{\circ}$ .....	41
Tabel 4.3 Data percobaan pada sudut tabung LPG $30^{\circ}$ .....	42
Tabel 4.4 Data percobaan pada sudut tabung LPG $60^{\circ}$ .....	43
Tabel 4.5 Data percobaan pada sudut tabung LPG $90^{\circ}$ .....	44

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Penggunaan Gas LPG (liquified petroleum gas) sudah banyak kita lihat dalam kehidupan sehari-hari. Penggunaan ini tidak lepas dari kebijakan pemerintah dalam bidang energi dimana pemerintah mengganti seluruh kompor minyak dengan kompor listrik dikarenakan kelangkaan minyak tanah. Namun seiring berjalannya waktu banyak terjadi kecelakaan dalam penggunaan gas LPG. Pengadaan alat-alat pendukung seperti regulator, selang dan tabung, menjadi sorotan belakangan ini.

Pada dasarnya, LPG adalah minyak bumi berbentuk gas yang dalam proses selanjutnya dirubah fasenya menjadi cair. Oleh karena itu LPG dapat disebut bahan bakar gas-cair. Proses perubahan fase gas ke cair pada gas LPG dilakukan dengan menaikkan tekanan dan menurunkan suhu gas. LPG dibedakan berdasarkan penggunaannya. LPG untuk kegunaan rumah tangga, sifat dan komposisinya berbeda dengan LPG yang digunakan untuk kebutuhan khusus dan komersial. Untuk kebutuhan rumah tangga LP yang digunakan adalah LPG dengan tekanan yang rendah. Menurut Keputusan Dirjen Migas No.25 K/36/DDJM/1990 tanggal 14 Mei 1990, Gas LPG yang dipasarkan di Indonesia adalah gas campuran yang terdiri dari Gas Propane dan Gas Butane yang perbandingan campurannya adalah Propana 30% dan butana 70%.

Aliran LPG merupakan aliran dua fase dan diperlukan perhitungan yang lebih sulit dibandingkan dengan aliran satu fase. Kedua sifat yang berbeda dalam satu aliran membuat aliran ini menjadi lebih kompleks. Kecepatan fluida cair pasti berbeda dengan kecepatan fluida gas, begitu juga dengan viskositasnya. Aliran dua fase dapat dibagi menjadi dua tipe yaitu model homogen dan model aliran terpisah. Model homogen ialah dimana kualitas gas atau nilai  $x$  dari campuran tidak berubah sepanjang aliran. Aliran model ini memudahkan perhitungan karena kecepatan aliran gas dan aliran fluida adalah sama sehingga dapat dianggap aliran satu fasa. Yang membedakannya dari aliran satu fasa adalah massa jenisnya yang

merupakan massa jenis campuran dari gas dan zat cair. Dan sebaliknya, dalam model aliran terpisah, kecepatan aliran gas dan fluida berbeda. Jadi, dalam sebuah aliran yang bergerak dalam satu lintasan terdapat dua jenis fluida yang berbeda. Dalam analisisnya model aliran terpisah sangat sulit dilakukan karena adanya interaksi antar fasa dalam aliran. Model aliran homogen hanya berlaku untuk koefisien kontraksi tertentu sehingga dalam penelitian ini digunakan analisa aliran dua fase dengan model terpisah.

Dalam setiap aliran, baik satu fase ataupun dua fase pasti terjadi penurunan tekanan yang dapat diakibatkan karena gesekan, belokan pada pipa dan juga pengecilan diameter pipa. Pada kasus aliran LPG, tekanan berkurang pada saat aliran gas melewati regulator. Penurunan ini memang dilakukan agar tekanan keluar gas tidak besar sehingga tidak berbahaya saat terjadi pembakaran. Apabila tekanan gas yang keluar dari regulator tinggi maka gas akan mudah terbakar. Semakin tinggi tekanan suatu gas, maka semakin tinggi temperaturnya dan membuatnya mudah terbakar. Pada penelitian ini, penurunan tekanan yang dianalisa ialah penurunan tekanan akibat perubahan kecepatan aliran LPG. Dalam aliran dua fase penurunan tekanan total yang terjadi merupakan penjumlahan dari penurunan tekanan akibat posisi (tekanan statik), penurunan tekanan akibat perubahan momentum, dan penurunan tekanan akibat gesekan. Penurunan tekanan akibat posisi diabaikan karena aliran LPG yang dianalisa pada penelitian ini adalah satu garis lurus secara horizontal sehingga tidak ada perbedaan ketinggian. Sedangkan penurunan akibat gesekan diabaikan karena nilainya yang sangat kecil apabila dibandingkan dengan penurunan akibat perubahan kecepatan.

Regulator LPG yang dipakai di Indonesia adalah regulator tekanan rendah dengan system pengancing. Sesuai SNI, tekanan masuk sebesar 0,7 MPa dan tekanan yang keluar dari regulator minimal 2,8 kPa dengan toleransi  $\pm 4,7$  kPa. Untuk menjaga agar gas tidak keluar saat tidak ada kebocoran atau pada saat tidak ada permintaan gas, maka dibuat tekanan pengaman (*lock up*). Berdasarkan SNI tekanan pengaman didefinisikan sebagai desakan aliran LPG yang berada didalam regulator yang berfungsi sebagai pendorong bantalan katup untuk menutup aliran

gas LPG yang keluar dari tabung LPG. Tekanan ini tidak boleh melebihi 41 mbar saat tidak ada arus aliran keluar.

Aliran gas yang melewati regulator dapat berubah-ubah sesuai dengan besarnya api yang akan digunakan. Perubahan aliran ini juga akan memberi dampak pada kinerja regulator. Aliran gas atau flowrate berpengaruh terhadap tekanan. Semakin cepat aliran gas, maka semakin kecil tekanan dari gas tersebut. Hal ini dikarenakan adanya kesetimbangan energi. Energi static dari gas dirubah menjadi energi kinetik, sedangkan jumlah energi tetap, sehingga nilai energi statik akan berkurang bila energi kineik yaitu kecepatan semakin besar. Untuk menstabilkan tekanan tersebut, regulator dilengkapi dengan pegas dan diafragma. Tekanan dari pegas akan menstabilkan perubahan tekanan yang terjadi pada aliran. Pegas akan berfungsi untuk mendorong dan juga menarik membrane atau diafragma sehingga tekanan dalam regulator menjadi stabil.

## **I.2. Perumusan Masalah**

Pengaturan kecepatan aliran gas dilakukan dengan menggunakan rotameter. Pengaturan ini diibaratkan sama dengan yang terjadi pada saat kita mengatur kecepatan aliran LPG di kompor gas. Posisi tabung gas digulingkan dengan variasi sudut untuk melihat fenomena perubahan tekanan yang terjadi. Pengukuran tekanan dilakukan pada titik sebelum dan sesudah regulator, setiap perubahan kecepatan dengan posisi tabung LPG yang digulingkan dengan sudut yang berbeda. Tekanan di kedua titik ini akan dilihat perbedaannya sehingga didapat rasio dari kestabilan regulator. Rasio tekanan ini akan dibandingkan dengan nilai maksimal yang telah ditetapkan oleh standard nasional Indonesia (SNI), dan dengan demikian kita dapat mengetahui apakah regulator dapat berfungsi dengan baik dengan perubahan kecepatan aliran yang telah ditentukan sebelumnya.

### **I.3. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk memperlihatkan bagaimana fenomena yang terjadi pada regulator akibat terjadinya perubahan kecepatan aliran gas yang melewatinya. Regulator memiliki suatu tekanan desain yang membuatnya akan menutup sendiri ketika tekanan itu terpenuhi. Perubahan kecepatan aliran pasti akan berpengaruh terhadap tekanan masuk dari regulator. Oleh karena itu perlu diteliti apa pengaruh dari kecepatan aliran dengan kestabilan regulator.

### **I.4 Batasan Masalah**

Dalam penelitian ini diterapkan beberapa batasan agar pembahasan tidak menjadi terlalu luas, dan analisa menjadi lebih khusus. Batasan yang digunakan adalah:

- Gesekan diabaikan, karena nilainya sangat kecil yang diakibatkan kecepatan aliran yang tinggi.
- Aliran LPG dianggap aliran model terpisah (*separated flow*)
- Aliran LPG melalui regulator dianggap aliran adiabatik karena tidak ada kerja ataupun kalor yang masuk dan keluar.
- Bahan bakar yang digunakan adalah gas LPG dengan komposisi Butana 70% dan Propana 30%
- Pengukuran dilakukan dengan menggunakan pressure gauge dengan ketelitian 0,002 bar.

### **I.5 Metodologi Penelitian**

Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain:

- Tahap perumusan masalah, yaitu mencari variabel-variabel yang berpengaruh pada penelitian dan mencari literature berupa jurnal-jurnal, buku, ataupun laporan penelitian yang berkaitan dengan penelitian ini.
- Tahap kegiatan, yaitu proses melakukan kegiatan penelitian. Dimulai dari membuat konsep alat penelitian, perancangan alat, melakukan penyetaran terhadap alat dengan melakukan percobaan pengambilan data, dan pengamatan.

- Tahap penelitian dan pengambilan data, yaitu tahap mengamati dan mengambil data dan pengolahan data.
- Tahap penulisan, yaitu menganalisa data-data yang telah didapat berdasarkan teori-teori dan literature dan kemudian menuliskannya dalam bentuk karya tulis skripsi.

## **I.6. Sistematika Penulisan**

Skripsi ini ditulis dengan sistematika sebagai berikut

### **BAB I            PENDAHULUAN**

Bab ini berisikan tentang latar belakang masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penelitian.

### **BAB II          DASAR TEORI**

Bab ini berisikan teori-teori yang mendukung dalam pengambilan data dan analisa.

### **BAB III        METODE PENELITIAN**

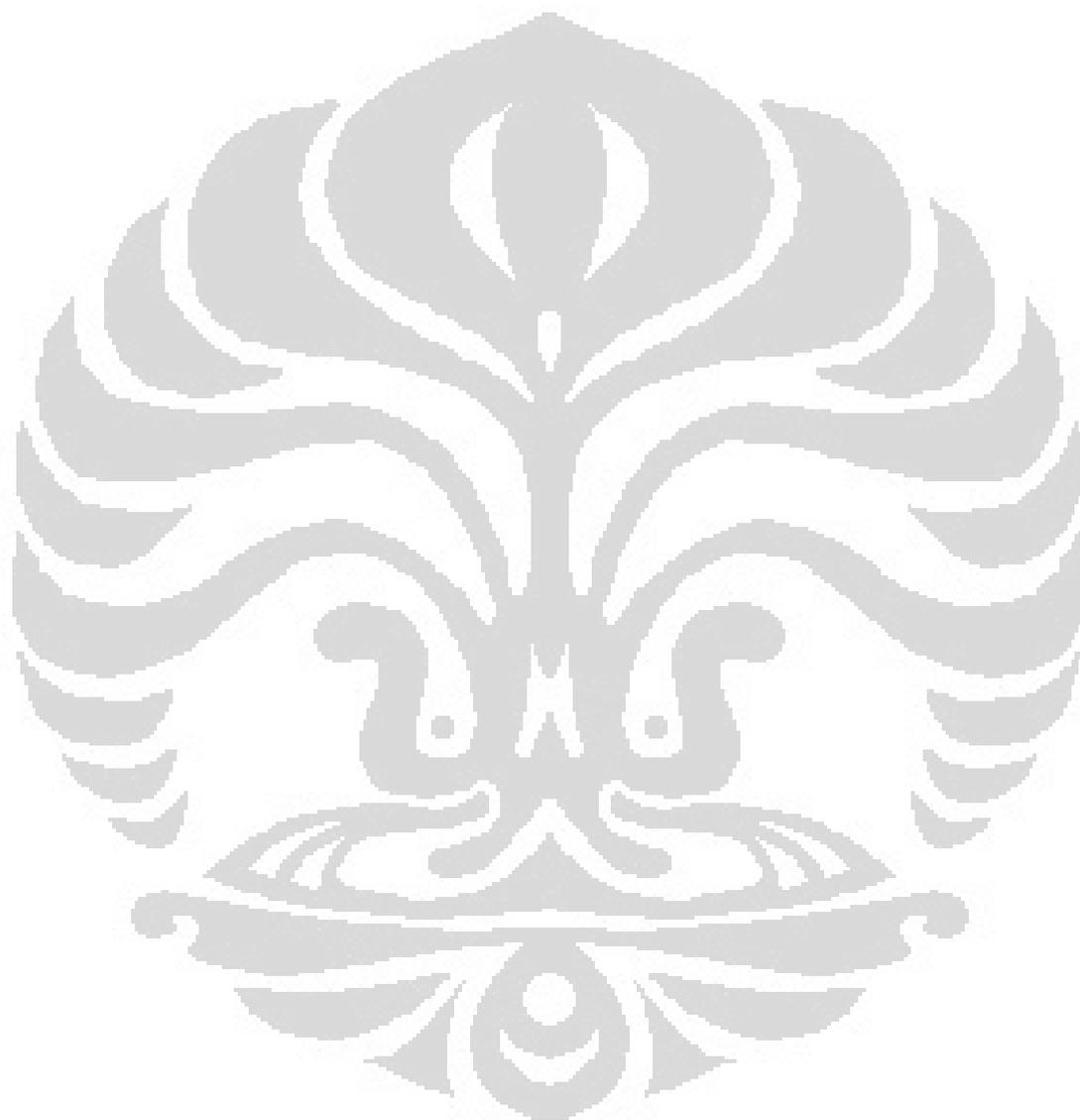
Bab ini berisi tentang alat-alat penelitian yang digunakan dan juga cara kerjanya secara singkat. Dan dijelaskan pula mengenai langkah-langkah dan prosedur serta kondisi yang dilakukan dalam penelitian dan pengambilan data.

### **BAB IV        HASIL DAN ANALISA**

Bab ini berisi tentang data-data dan grafik dari pengolahan data tersebut, serta analisis mengenai hasil yang diperoleh.

### **BAB V        KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan berdasarkan tujuan penelitian dan saran-saran yang berguna untuk penelitian selanjutnya.



## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### II.1. Sifat Dasar Fluida

Cairan dan gas disebut fluida, sebab zat cair tersebut dapat mengalir. Untuk mengerti aliran fluida maka harus mengetahui beberapa sifat dasar fluida. Adapun sifat – sifat dasar fluida yaitu; kerapatan (density), berat jenis (specific gravity), tekanan (pressure), kekentalan (viscosity).

##### II.1.1. Kerapatan (density)

Kerapatan atau density dinyatakan dengan  $\rho$  ( $\rho$  adalah huruf kecil Yunani yang dibaca “rho”), didefinisikan sebagai mass per satuan volume.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad [\text{kg/m}^3]$$

dimana

$\rho$  = kerapatan (kg/m<sup>3</sup>)

m = massa benda (kg)

v = volume (m<sup>3</sup>)

Pada persamaan diatas, dapat digunakan untuk menuliskan massa, dengan persamaan sebagai berikut :

$$M = \rho v \quad [\text{kg}]$$

Kerapatan adalah suatu sifat karakteristik setiap bahan murni. Benda tersusun atas bahan murni, misalnya emas murni, yang dapat memiliki berbagai ukuran ataupun massa, tetapi kerapatannya akan sama untuk semuanya. Satuan SI untuk kerapatan adalah kg/m<sup>3</sup>. Kadang kerapatan diberikan dalam g/cm<sup>3</sup>. Dengan catatan bahwa jika kg/m<sup>3</sup> = 1000 g/(100 cm)<sup>3</sup>, kemudian kerapatan yang diberikan dalam g/cm<sup>3</sup>

harus dikalikan dengan 1000 untuk memberikan hasil dalam kg/m<sup>3</sup>. Dengan demikian kerapatan air adalah 1,00 g/cm<sup>3</sup>, akan sama dengan 1000 kg/m<sup>3</sup>. Berbagai kerapatan bahan diunjukkan pada tabel II-1. Dalam tabel II-1 tersebut ditetapkan suhu dan tekanan karena besaran ini akan dipengaruhi kerapatan bahan (meskipun pengaruhnya kecil untuk zat cair).

### II.1.2. Tekanan (pressure)

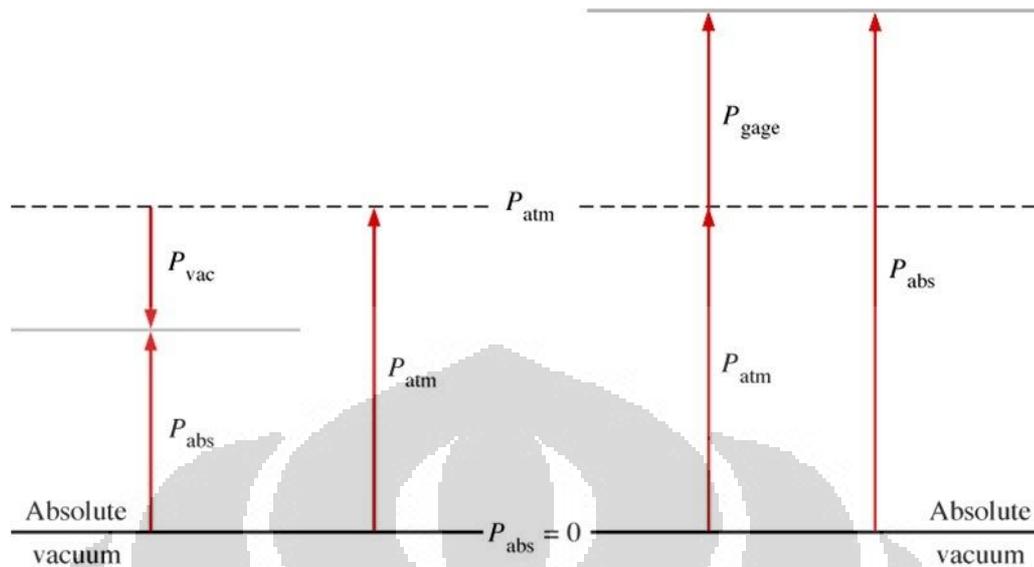
Tekanan merupakan salah satu properti yang terpenting dalam termodinamika, dan didefinisikan sebagai gaya tekan suatu fluida (cair atau gas) pada satu satuan unit luas area. Istilah tekanan pada benda padat disebut tegangan (stress). Satuan tekanan adalah Pa (Pascal), yang didefinisikan sebagai,

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

Karena satuan Pascal terlalu kecil, maka dalam analisis termodinamika sering digunakan satuan kilopascal (1 kPa = 10<sup>3</sup> Pa), atau megapascal (1 MPa = 10<sup>6</sup> Pa). Satuan tekanan yang cukup dikenal adalah satuan bar (barometric), atau atm (standard atmosphere), sebagai berikut. 1 bar = 10<sup>5</sup> Pa = 0,1 Mpa = 100kPa

$$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ Pa} = 101,325 \text{ kPa} = 1,01325 \text{ bar}$$

Pengukuran tekanan dengan menggunakan referensi tekanan nol absolut disebut tekanan absolut (ata), sedang tekanan manometer (ato) adalah tekanan relatif terhadap tekanan atmosfer. Tekanan vakum adalah tekanan dibawah 1 atm, yaitu perbedaan antara tekanan atmosfer dengan tekanan absolut, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1. sebagai berikut,



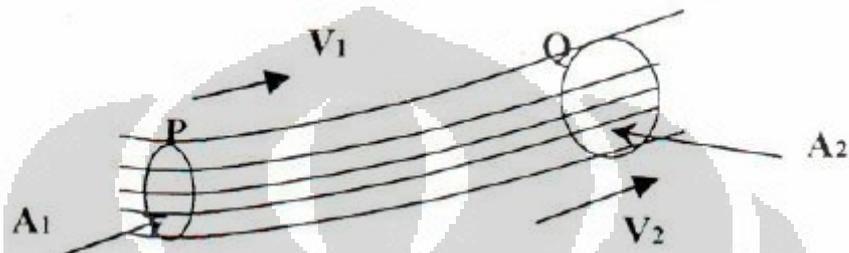
Gambar 2.1 Pengukuran tekanan

Alat pengukur tekanan diatas atmosfer adalah manometer, alat pengukur tekanan vakum disebut manometer vakum, sedang alat pengukur tekanan atmosfer disebut barometer. Terdapat banyak jenis metode pengukuran tekanan seperti pipa U, manometer pegas, atau transduser elektronik.

Konsep tekanan sangat berguna terutama dalam berurusan dengan fluida. Sebuah fakta eksperimental menunjukkan bahwa fluida menggunakan tekanan ke semua arah. Hal ini sangat dikenal oleh para perenang dan juga penyelam yang secara langsung merasakan tekanan air pada seluruh bagian tubuhnya. Pada titik tertentu dalam fluida diam, tekanan sama untuk semua arah. Bayangkan fluida dalam sebuah kubus kecil sehingga kita dapat mengabaikan gaya gravitasi yang bekerja padanya. Tekanan pada suatu sisi harus sama dengan tekanan pada sisi yang berlawanan. Jika hal ini tidak benar, gaya netto yang bekerja pada kubus ini tidak akan sama dengan nol, dan kubus ini akan bergerak hingga tekanan yang bekerja menjadi sama.

### II.3 Persamaan Kontinuitas

Gerak fluida didalam suatu tabung aliran haruslah sejajar dengan dinding tabung. Meskipun besar kecepatan fluida dapat berbeda dari suatu titik ke titik lain didalam tabung.



Gambar 2.2 persamaan kontinuitas aliran pada pipa

Pada gambar 2.2 , misalkan pada titik P besar kecepatan adalah  $V_1$ , dan pada titik Q adalah  $V_2$ . Kemudian  $A_1$  dan  $A_2$  adalah luas penampang tabung aliran tegak lurus pada titik Q. Didalam interval waktu  $\Delta t$  sebuah elemen fluida mengalir kira-kira sejauh  $V\Delta t$ . Maka massa fluida  $\Delta m_1$  yang menyeberangi  $A_1$  selama interval waktu  $\Delta t$  adalah

$$\Delta m = \rho_1 A_1 V_1 \Delta t$$

dengan kata lain massa  $\Delta m_1/\Delta t$  adalah kira-kira sama dengan  $\rho_1 A_1 V_1$ . Kita harus mengambil  $\Delta t$  cukup kecil sehingga didalam interval waktu ini baik  $V$  maupun  $A$  tidak berubah banyak pada jarak yang dijalani fluida, sehingga dapat ditulis massa di titik P adalah  $\rho_1 A_1 V_1$  massa di titik Q adalah  $\rho_2 A_2 V_2$ , dimana  $\rho_1$  dan  $\rho_2$  berturut-turut adalah kerapatan fluida di P dan Q. Karena tidak ada fluida yang berkurang dan bertambah maka massa yang menyeberangi setiap bagian tabung per satuan waktu haruslah konstan. Maka massa P haruslah sama dengan massa di Q, sehingga dapatlah ditulis;

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$$

$$\rho A V = \text{konstan}$$

Persamaan tersebut menyatakan hukum kekekalan massa didalam fluida. Jika fluida yang mengalir tidak termampatkan, dalam arti kerapatan konstan maka persamaan dapat ditulis menjadi :

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$A V = \text{konstan}$$

Persamaan diatas dikenal dengan persamaan kontinuitas.

#### II.4 LPG (Liquefied Petroleum Gas)

Merupakan campuran dari berbagai hidrokarbon, sebagai hasil penyulingan minyak mentah, berbentuk gas. Dengan menambah tekanan atau menurunkan suhunya membuat menjadi cairan. Inilah yang kita kenal dengan bahan bakar gas cair. Terutama digunakan oleh para ibu rumah tangga dan restoran sebagai pengganti bahan bakar minyak yang kian menipis persediaanya. LPG merupakan senyawa hidrokarbon yang dikenal sebagai Butana, Propana, Isobutana atau campuran antara Butana dengan Propana. Secara umum LPG bersifat :

- Berat jenis gas LPG lebih besar dari udara, yaitu :
  - Butana mempunyai berat jenis dua kali berat jenis udara.
  - Propana mempunyai berat jenis satu setengah kali berat udara.
- Tidak mempunyai sifat pelumasan terhadap metal.
- Merupakan Solvent yang baik terhadap karet, sehingga perlu diperhatikan terhadap kemasan atau tabung yang di pakai.
- Tidak berwarna baik berupa cairan maupun dalam bentuk gas.
- Tidak berbau. Sehingga untuk keselamatan, LPG komersial perlu ditambah zat odor, yaitu Ethyl Mercaptane yang berbau menyengat seperti petai.
- Tidak mengandung racun.

- Bila menguap di udara bebas akan membentuk lapisan karena kondensasi sehingga adanya aliran gas.
- Setiap kilogram LPG cair dapat berubah menjadi kurang lebih 500 liter gas LPG.
- Sensitif terhadap api.
- Mudah terbakar.
- Tidak berwarna dan berbau.
- Mempunyai daya pemanasan yang tinggi karena mempunyai nilai kalor yang
- relatif lebih tinggi per satuan beratnya dibanding bahan bakar lain untuk kegunaan yang sama.
- Bersih, tidak berwarna, mudah dan aman dalam pengangkutan dan penyimpanannya.
- Tidak menyebabkan pengkaratan pada besi dan tabung kemasan

Secara umum, LPG digunakan oleh restoran, rumah makan, rumah sakit, laboratorium. Industri yang menggunakan LPG sebagai bahan bakar adalah pabrik-pabrik, penyulingan, perusahaan keramik, dok perkapalan, bengkel dan sebagainya. Selain digunakan sebagai bahan bakar, gas LPG digunakan pula sebagai bahan penekan. Digunakan untuk hasil produksi yang berjenis spray, seperti deodorant, minyak wangi spray, cat pylox, dan kosmetik sejenisnya.

Secara garis besar, fungsi LPG adalah sebagai berikut :

- Sebagai bahan untuk rumah tangga meliputi kompor, Pemanas Air dan lampu penerangan.
- Sebagai bahan bakar industri, meliputi industri Makanan, Kertas, Tekstil, Percetakan, Cat, Keramika, Gelas, Industri Logam dan sebagainya.
- Berguna pula sebagai bahan penekan atau zat penyemprotan seperti pada obat nyamuk Spray, cat Spray (Pilox) dan deodorant.

Untuk mengetahui kebocoran pada tabung gas, bahan bakar ini diberikan aroma khusus (gas mervaptane) yang berbau seperti petai. Bau ini amat menusuk hidung, sehingga bila tabung bocor dapat segera terdeteksi dan dapat

ditanggulangi secepatnya. Penggunaan yang tepat bahan bakar ini dapat menghemat waktu karena memudahkan saat memasak Kompor LPG berpemantik api otomatis, sehingga tidak perlu menyediakan korek api setiap hari.

Bahan bakar gas LPG tidak meninggalkan sisa pembakaran seperti bahan bakar lainnya. Ruang dapur pun akan terjamin kebersihannya. Memasak dengan LPG membutuhkan waktu lebih sedikit dibanding dengan bahan bakar lainnya.

## **II.5.1 SIFAT-SIFAT GAS LPG**

### **II.5.1.1 Perubahan fase Gas LPG.**

LPG merupakan campuran dari beberapa gas natural yang mudah berubah fase menjadi liquid dan gas kembali. Untuk berubah fase menjadi cair sebuah zat (gas natural) harus dikondisikan pada temperature dibawah titik didihnya. Titik didih merupakan temperatur dimana sebuah zat berubah fase dari fase cair menjadi fase gas. Propana yang merupakan campuran dari LPG dapat berubah fase menjadi cair ketika didinginkan dengan temperatur dibawah  $-42^{\circ}\text{C}$  dengan tekanan atmosfer diatas 7 bar (700 kPa) dengan temperatur konstan. Berbeda dengan propane, butane dapat berubah fase menjadi cair dengan kondisi temperature dibawah  $0.5^{\circ}\text{C}$  dan tekanan atmosfer diatas 2 bar (200 kPa). Dengan adanya perubahan fase dari gas-gas natural tersebut maka gas tersebut dapat dikompresikan. Propana dapat dikompresikan hingga perbandingan 1:270 dari fase gas menjadi fase cair, sedangkan propane dapat dikompresikan hingga mencapai 1:240 dari fase gas menjadi fase cair. Karena sifat-sifat tersebut, maka LPG dapat disimpan dalam *storage tank* (bejana tangguh).

### **II.5.1.2 Perubahan volume terhadap temperature**

LPG baik dalam fase cair maupun gas, akan memuai jika terkena panas, dan menyusut jika didinginkan. Pada saat memuai volume LPG akan bertambah dan berkurang jika didinginkan. Oleh karena pengaruh temperature yang sangat besar, volume LPG dapat menyusut sebesar 1% dengan perubahan temperature 6 F ( $-14.4^{\circ}\text{C}$ ).

### II.5.1.3 Temperatur dan tekanan uap (*vapor pressure*)

Untuk menjaga LPG tetap dalam fase cairnya, LPG harus dikondisikan dalam temperatur dan tekanan tertentu. Jika temperature propane dinaikan, maka tekanan yang dibutuhkan untuk menjaga propane dalam fase cair harus dinaikan juga, hal yang sama juga berlaku untuk gas natural butana.

### II.5.2 Komponen LPG

LPG mempunyai komposisi 30% Propan ( $C_3H_8$ ) dan 70% Butan ( $C_4H_{10}$ ) serta etil mercaptane sebagai zat pembau. Komposisi ini merupakan yang paling aman untuk digunakan di rumah tangga.

#### II.5.2.1 Butana

Butana, yang sering juga disebut n-butana, adalah alkane yang memiliki empat atom Karbon ( $CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_3$ ). Butana sangat mudah terbakar, tidak berwarna dan mudah untuk dicairkan (*liquified gases*). Pada pembakaran dengan jumlah oksigen yang banyak, butane akan berubah menjadi karbon dioksida dan uap air. Jika kadar oksigen yang tersedia terbatas, karbon mono oksida (CO) kemungkinan akan terbentuk.

Gas butane biasa dijual dalam bentuk LPG, dimana gas butane dicampur dengan propane dan gas-gas hidrokarbon lain. Gas butane biasa digunakan untuk keperluan rumah tangga. Karakteristik butane antara lain sebagai berikut:

Propeties Butana	
Molecular Formula	$C_4H_{10}$
Molar Mass	$58.12 \text{ g mol}^{-1}$
Appearance	Colorless gas
Density	2.48 kg/m <sup>3</sup> , gas (15 °C, 1 atm)
	600 kg/m <sup>3</sup> , liquid (0 °C, 1 atm)
Kalor Spesifik (Cp)	1.7164 kJ/kg.K, gas (15 °C, 1 atm)
	2.31 kJ/kg.K, liquid (0 °C, 1 atm)

Cv	1.5734 kJ/kg.K
M	6.8E-06 Pa.s, liquid (0 °C, 1 atm)
	8.4E-06 Pa.s, Gas (15°C, 1atm)
k	1.091
R	0.1433 kJ/kg.K
Volume	0.2547 m3/kmol
Melting Point	-138.4 °C (135.4 K)
Boiling Point	-0.5 °C (272.6 K)

Tabel 2.1 Properties Butana

(Sumber: *Fundamental of Thermal-Fluid Science: Yunus A Cengel and Robert H Turner*)

### II.5.2.2 Propana

Propana adalah alkana yang memiliki tiga atom karbon ( $C_3H_8$ ) dan merupakan gas yang tidak memiliki warna. Propana diperoleh dari proses pemisahan gas tersebut dengan produk petroleum yang lain selama proses pengolahan minyak dan gas bumi. Propane secara umum digunakan sebagai sumber panas pada mesin, alat panggang dan perumahan. Propane dalam bentuk LPG sebagai alat bahan bakar, merupakan campuran dengan butane dalam jumlah yang lebih kecil ditambahkan pembau. Reaksi pembakaran propane dengan udara akan menghasilkan  $CO_2$  dan  $H_2O$ .

Karena massa jenis propane lebih besar daripada udara, propane akan jatuh dan berada diatas permukaan lantai jika dilepaskan ke udara bebas. Propane cair akan berubah menjadi uap pada tekanan atm dan berwarna putih karena mengembun. Propana memiliki karakteristik sebagai berikut:

Properties Propana	
Molecular Formula	$C_3H_8$
Molar Mass	$44.1 \text{ g mol}^{-1}$

Appearance	Colorless gas
Density	2.0098 kg/m <sup>3</sup> , gas (15 °C, 1 atm)
	581.2 kg/m <sup>3</sup> , liquid (0 °C, 1 atm)
Kalor Spesifik (Cp)	1.6794kJ/kg.K, gas (15 °C, 1 atm)
	2.25 kJ/kg.K, liquid (0 °C, 1 atm)
Cv	1.4909 kJ/kg.K
M	8E-06 Pa.s, Liquid(0 °C, 1 atm)
	8.029E-06 Pa.s, Gas (15 °C, 1 atm)
k	1.126
R	0.1885 kJ/kg.K
Volume	0.1998 m <sup>3</sup> /kmol
Melting Point	-187.7 °C
Boiling Point	-42.1 °C

Tabel 2.2 Properties Propana

(Sumber: *Fundamental of Thermal-Fluid Science: Yunus A Cengel and Robert H Turner*)

## II.6 Pencampuran Gas

Banyak aplikasi termodinamika melibatkan pencampuran pada beberapa zat murni. Udara merupakan campuran antara berbagai macam gas. Bahan bakar ditambahkan ke dalam udara pada proses pembakaran yang berakibat pada terjadinya beberapa gas baru seperti karbon dioksida, uap air dan nitrogen oksida. Juga sifat-sifat termodinamika dari zat-zat murni yang digunakan sebagai komponen pencampuran diketahui, haruslah dikembangkan suatu aturan yang dapat menentukan sifat-sifat campuran yang terjadi dan berkaitan dengan komposisi campuran dan sifat-sifat dari masing-masing komponen. Campuran yang digunakan terdiri atas  $i = 1, \dots, v$  zat-zat murni yang berbeda, dalam hal ini merupakan komponen-komponen. Massa setiap komponen  $m_i$ . Jika berat molekul dilambangkan dengan  $M_i$  dan jumlah seluruh molekul zat adalah  $N_i$ , dapat ditulis:

$$m_i = n_i M_i \quad (2.1)$$

Total massa dari campuran diberikan oleh persamaan:

$$m_m = \sum_{i=1}^k m_i (2.2)$$

Densitas massa campuran diberikan oleh persamaan:

$$\rho_m = \frac{m_m}{V_m} = \sum_{i=1}^k \rho_i (2.3)$$

Fraksi massa

$$m_{fi} = \frac{m_i}{m_m} (2.4)$$

Fraksi mol

$$X_i = \frac{n_i}{n_m} (2.5)$$

Kalor Spesifik dari campuran diberikan oleh persamaan:

$$Cp_m = \sum_{i=1}^k X_i Cp_i (2.6)$$

## II.7 Aliran Dua-Fasa

Pada banyak penerapan praktik, sebuah fluida terdiri dari komponen-komponen dengan fasa yang berbeda-beda. Perhitungan penurunan tekanan dan kecepatan pada aliran dua fasa sangatlah rumit, dengan cara yang sama seperti analisa fluida *non-newtonian* menggunakan model matematika dan data empiris diperlukan untuk menganalisa dua aliran fasa.

Viskositas suatu gas bertambah dengan naiknya temperature karena makin besarnya aktivitas molekuler ketika temperature meningkat.

Persamaan yang digunakan pada penelitian tentang aliran dua fasa adalah sebagai berikut: *Vapour Fraction* didefinisikan sebagai fraksi dari aliran volume aliran dan luas penampang yang ditempati oleh fasa gas.

## II.7.1 Model Aliran dua Fasa

Model aliran dua fasa secara umum diklasifikasikan sebagai berikut ini:

- a. Model Homogen, dimana komponen rata-rata pada larutan yang digunakan dan pola aliran yang mendetail dabaikan.
- b. Model Aliran Terpisah, dimana persamaan aliran (kontinuitas, momentum, energi) diterapkan pada setiap fasa larutan fluida.
- c. Model Penyimpangan Aliran, dimana analisisnya deidasarkan pada pergerakan relative fasa-fasa yang ada..

### II.7.2.1 Model Homogen

Model Homogen merupakan model sederhana yang menggambil larutan dua fluida sebagai sesuatu yang memiliki kesamaan dan selanjutnya menggunakan unsur rata-rata. variasi pada unsur fluida sepanjang pipa dan bagian-bagian silang diabaikan, model ini jelas tidak bersifat tetap tetapi mudah untuk digunakan dan diteliti dapat menghasilkan perkiraan yang masuk akal.

*Vapour Fraction* didefinisikan sebagai :

1. Fraksi dari volume saluran yang ditempati oleh fase gas
2. Fraksi dari luas penampang saluran yang ditempati oleh fase gas.

$$\text{Vapour Fraction } (\alpha) = \frac{\text{Volume Gas}}{\text{Volume Liquid}}$$

Fraksi hampa ini dapat dinyatakan dengan  $\alpha$  dan dapat dinyatakan berkenaan dengan dirinya sendiri atau berkenaan dengan rasio kecepatan,  $S$  seperti :

$$S = \frac{C_V}{C_L} = \frac{\frac{Q_V}{A\alpha}}{\frac{Q_L}{A(1-\alpha)}} = \frac{Q_V(1-\alpha)}{Q\alpha} = \frac{\rho_L(1-\alpha)}{\rho_V(1-x)\alpha}$$

Atau

$$S = \frac{\rho_L(1-\alpha)}{\rho_V(1-x)\alpha}$$

Untuk aliran homogen dimana kecepatan tiap fasa sama,  $C_V = C_L$  maka *vapour fraction* homogen ( $\alpha_h$ ) didapat:

$$\alpha_h = \frac{1}{1 + \left( \frac{(1-x)\rho_V}{x \cdot \rho_L} \right)}$$

$$\alpha = \frac{A_V}{A} \text{ atau } 1 - \alpha = \frac{A_L}{A} \quad (2.7)$$

Dimana  $A_L$  adalah *cross-sectional* yang ditempati liquid dan  $A = A_V + A_L$ . Dalam model homogen hal ini juga dapat ditunjukkan dengan lambang tingkat aliran volumetric (Q).

$$\alpha = \frac{Q_V}{Q}$$

Vapour Fraction  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{1}{1 + \left( \frac{C_V(1-x)\rho_V}{C_L \cdot x \cdot \rho_L} \right)}$$

Campuran fase gas (aliran massa) dari tingkat aliran massa gas total disebut kualitas (x) yaitu:

$$x = \frac{\dot{m}_V}{\dot{m}} \rightarrow \dot{m} = \dot{m}_V + \dot{m}_L$$

$$\dot{m}_V = \rho_V \cdot \mu_V \cdot \alpha \cdot A$$

$$\dot{m}_L = \rho_L \cdot \mu_L \cdot (1 - \alpha) \cdot A$$

Maka densitas homogen campuran dapat dicari dari:

$$\rho = \alpha \cdot \rho_V + (1 - \alpha) \cdot \rho_L$$

Dengan  $\alpha_h$  adalah *vapour fraction* homogen;

$$\frac{1}{\rho_h} = \frac{x}{\rho_V} + \frac{1-x}{\rho_L}$$

Sedangkan untuk menggitung gradient tekanan sepanjang pipa dengan keadaan steady flow dihitung dengan persamaan Darcy-Weisbach berikut:

$$\lambda = \frac{2g \cdot D \cdot \Delta Z}{C^2 L}$$

Dimana:

$\lambda$  = Koefisien gesek antar fasa

$\Delta Z$  = Beda ketinggian (m)

$g$  = Gravitasi

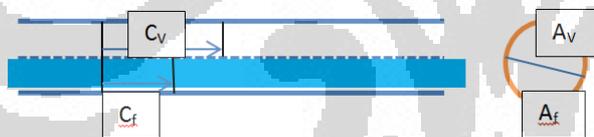
$D$  = Diameter Pipa

$C$  = Kecepatan aliran fluida

$L$  = Panjang pipa

### II.7.2.2 Model Aliran Terpisah

Dalam aliran terpisah (*separated*), fasa-fasa secara fisik mengalir terpisah dengan kecepatan berbeda seperti ditunjukkan dalam gambar. Rasio kecepatan ( $S$ ) untuk aliran homogen sama dengan satu sedangkan untuk aliran terpisah  $S$  biasanya tidak sama dengan satu, jadi fasa vapour bergerak lebih cepat dari liquid.



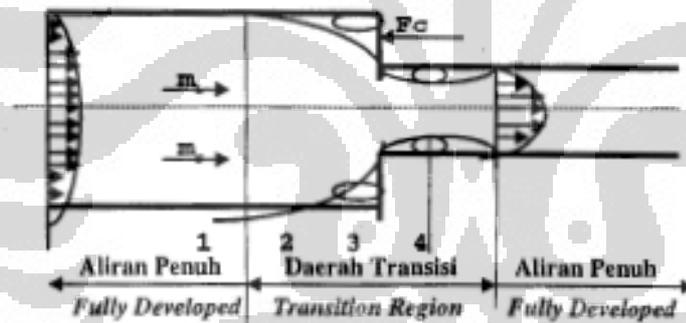
Gambar 2.3 model aliran terpisah

Model aliran terpisah (*Separated Flow*) melihat koefisien dua fasa sebagai fluida terpisah dimana persamaan fase tunggal yang normal dapat digunakan, interaksi yang terjadi antara fasa-fasa tersebut pada kenyataannya sering kali sulit untuk dianalisis dan dihitung dengan faktor-faktor semi empiris.

### II.8. Aliran Dua Fase Melewati Pengecilan Penampang

aliran yang mengalir dalam lintasan tertutup seperti pipa, terjadi beberapa kerugian, terutama penurunan tekanan. Pengecilan penampang, System sambungan, belokan dan juga perbedaan ketinggian menjadi beberapa faktor dari

kerugian ini. Pengecilan penampang bertujuan untuk menaikkan kecepatan aliran fluida yang melalui pipa. Pada aliran dua fase gas-cair, Collier (1977) dalam penelitiannya yang menggunakan uap basah sebagai fluida kerjanya menyimpulkan bahwa pressure drop hasil perhitungan teori yang menggunakan model persamaan aliran homogen yang diterapkan untuk aliran dua fasa hanya akurat untuk koefisien kontraksi tertentu. Schmidt dan Friedel (1997) melakukan pengukuran penurunan tekanan sepanjang sumbu saluran dan penurunan tekanan sebelum dan sesudah dinding kontraksi. Disimpulkan bahwa semakin besar fluks massa dan kualitas aliran semakin besar pula penurunan tekanan. King dan Piar (1999) dalam penelitiannya menghasilkan profil distribusi tekanan pada sumbu nosel. Gambar memperlihatkan garis arus yang berbatasan dengan dinding saluran saat melewati *sudden contraction*. pada saat memasuki daerah transisi, aliran yang berbatasan dengan dinding saluran mulai memisahkan diri sampai pada luas aliran terkecil yang disebut *vena contracta*. Setelah itu, aliran ekspansi sampai aliran memenuhi luasan saluran.



Gambar 2.4 garis aliran pada kontraksi saluran

Penurunan tekanan secara teoritis dapat ditentukan melalui persamaan keseimbangan momentum. Pada volume antar penampang 1-2 gambar persamaan keseimbangannya adalah (Gerhart, dkk 1992, hal:248)

$$\sum F = M_{out} - M_{in}$$

$$P_1 A_1 - P_2 A_2 - P_c (A_2 - A_1) = m_L (w_{L2} - w_{L1}) + m_g (w_{g2} - w_{g1})$$

Dimana:

$P_1$  = tekanan pada penampang 1

$P_2$  = tekanan pada penampang 2

$P_c$  = tekanan pada dinding kontraksi

$m_l$  = massa cairan

$m_g$  = massa gas

$w_g$  = kecepatan gas

$w_L$  = kecepatan cairan

$F_c$  = tekanan pada dinding kontraksi

Diasumsikan bahwa  $P_c = P_1$  sehingga  $F_c = P_1(A_2 - A_1)$  sehingga persamaan menjadi

$$P_1 A_2 - P_c(A_2 - A_1) - P_2 A_2 = m_L (w_{L2} - w_{L1}) + m_g (w_{g2} - w_{g1})$$

Dimana:

$$m_l = G(1-x) A$$

$$m_g = G.x.A$$

$$w_L = G(1-x)/\rho_L (1-\alpha)$$

$$w_g = G.x / \rho_g \alpha$$

penurunan tekanan total akibat perubahan kecepatan

$$\Delta P_{1-4} = \frac{G^2 (1 - S^2)}{2} \left( \frac{x^3}{\rho_g^2 \alpha^2} + \frac{(1-x)^3}{\rho_L^2 (1-\alpha)^2} \right) (\rho_m)$$

## II.9 Relief Valve

Relieve Valve adalah anggota dari dari kelompok Pressure Relief Devices [6]. Pressure Relief Devices merupakan peralatan mekanis yang berfungsi melindungi peralatan pabrik dari tekanan berlebih (overpressure). Pressure relief devices

dirancang untuk membuka pada saat kondisi darurat atau keadaan abnormal untuk mencegah meningkatnya tekanan fluida melebihi batas yang ditetapkan. Peralatan ini juga dirancang untuk mencegah terjadinya kondisi vakum yang berlebihan dalam suatu peralatan proses. Tujuan pemasangan Pressure relief devices tidak hanya untuk keamanan dan keselamatan kerja namun juga untuk mencegah terjadinya kerusakan peralatan, mencegah kehilangan bahan baku atau produk, mengurangi jumlah down time, dan sebagainya.

Dalam API RP 520 dan API RP 521 terdapat beberapa definisi penting yang dipakai yang berkaitan dengan pressure relieve device yaitu sebagai berikut:

- a. Relief Valve atau Pressure Relief Valve (PRV), adalah suatu alat otomatis pembuang tekanan yang digerakan oleh static pressure upstream dari valve dan yang membuka proporsional terhadap kenaikan tekanan diatas tekanan bukaan. Relief valve digunakan terutama pada fluida cair seperti air atau minyak [7]. Kapasitas Relief Valves biasanya pada 10 atau 25 persen dari nilai overpressure tergantung pada aplikasinya
- b. Safety Valve atau Pressure Safety Valve (PSV), adalah suatu alat otomatis pembuang tekanan yang digerakkan oleh static pressure upstream dari valve dengan ciri membuka penuh atau popping. Safety valve digunakan terutama pada fluida gas atau uap [7].
- c. Safety Relief Valve (SRV), adalah suatu alat otomatis pembuang tekanan yang cocok untuk dipergunakan baik sebagai safety valve maupun sebagai relief valve tergantung pada penggunaannya

Walaupun API Recommended Practice telah membuat definisi tersebut di atas, namun banyak perusahaan minyak dan gas bumi yang mencampuradukkan istilah tersebut di atas dan hanya memakai istilah relief valve saja.

### **II.9.1 Pilot-operated Pressure Relief Valve**

Tipe ini banyak digunakan dalam Refinery Process Equipment yang memerlukan proteksi terhadap overpressure. Conventional PRV digunakan ketika outletnya menuju sebuah pipa pendek yang dibuang ke atmosfer atau sistem perpipaan.

Pilot-operated PRV digunakan untuk mengatasi beberapa kelemahan yang ada pada PRV tipe konvensional dan tipe non-konvensional. Pilot-Operated PRV secara umum terbagi atas tipe piston dan tipe diafragma.

### **II.9.2 tipe diafragma**

Pilot-operated PRV lebih unggul dibandingkan tipe konvensional dan tipe balanced pada rentang tekanan 1 – 15 psig dan suhu ambient. Pilot-operated PRV dapat digunakan pada kondisi fasa gas atau cair, karena bagian valve utama dan pilot tidak mengandung komponen non metal, temperatur proses dan fluida sesuai serta terbatas penggunaannya. Sebagai tambahan, karakteristik fluida seperti kecenderungan pada terbentuknya polimer atau fouling, viscosity, adanya padatan, dan sifat korosif dapat mempengaruhi kinerja pilot.

### **II.9.3 Analisis penyebab Terjadinya Overpressure**

Ada empat kemungkinan yang dapat menyebabkan terjadinya kelebihan tekanan dalam suatu peralatan proses yaitu :

1. Kenaikkan input bahan
2. Penurunan output bahan
3. Kenaikkan input panas
4. Penurunan kehilangan panas

Contoh-contoh dari penyebab terjadinya kelebihan tekanan antara lain adalah :

- 1) Kenaikkan input bahan seperti;
  - Kegagalan dan membukanya control valve upstream suatu vessel
  - Kekeliruan atau ketidaksengajaan sehingga membuka valve di bagian upstream suatu vessel.
  - tube rupture dalam reboiler
- 2) Penurunan output bahan seperti;
  - Kegagalan dan menutupnya control valve yang terletak di bagian downstream sebuah vessel
  - Kekeliruan atau ketidaksengajaan menutup valve yang terletak di downstream sebuah vessel
  - Kegagalan kompresor yang terpasang di bagian downstream sebuah vessel

- Kegagalan pompa yang terpasang di downstream, sebuah vessel
- 3) Kenaikkan input bahan seperti;
- Kegagalan suatu valve untuk menutup bahan bakar ke fired heater
  - Kenaikkan pemindahan panas karena kenaikan beda suhu di dalam sebuah reboiler
  - Kebakaran yang terjadi sekitar sebuah vessel
- 4) Penurunan kehilangan panas seperti;
- Kegagalan air pendingin
  - Kegagalan condenser udara
  - Kegagalan sirkulasi aliran penghilang panas

Empat kemungkinan di atas adalah kemungkinan penyebab kelebihan tekanan yang tidak berkaitan (unrelated casualties). Dalam menganalisis suatu sistem untuk pemasangan relief valve maka telah diterima sebagai panduan umum (general practice) mengadakan asumsi bahwa satu atau lebih penyebab kelebihan tekanan overpressure yang tidak berkaitan tidak akan terjadi secara bersamaan. Sebagai contoh, tidak perlu berasumsi bahwa sebuah pompa akan mengalami kegagalan pada saat terjadi tube rupture, dan pada saat yang sama operator menutup valve yang salah secara tidak sengaja. Namun didalam kejadian general power failure maka dapat dengan mudah terjadi secara simultan kegagalan pompa reflux, kegagalan air pendingin dan kegagalan condenser udara yang kesemuanya penyebab terjadinya overpressure. Penyebab-penyebab semacam ini merupakan penyebab yang berkaitan dan pengaruhnya secara simultan harus diperhitungkan.

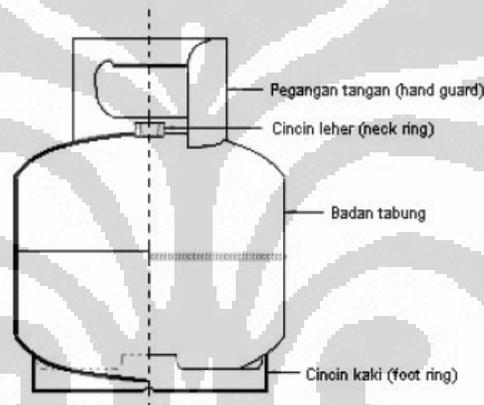
## BAB III

### METODOLOGI

#### III.1. Peralatan Penelitian

##### III.1.1 Tabung gas LPG 3 kg

Tabung gas yang dipakai pada penelitian ini adalah tabung gas jenis 3 kg. di Indonesia terdapat 3 jenis tabung gas yang dipasarkan, yaitu tabung gas 3 kg, 10 kg, dan 50 kg. tabung gas 3 kg adalah jenis yang paling banyak digunakan dalam kebutuhan rumah tangga, dikarenakan ukurannya yang lebih kecil, harganya murah, dan juga mudah untuk mendapatkannya.



Gambar 3.1 Tabung gas LPG 3 kg

##### III.1.2. Regulator

Terdapat 2 jenis regulator yang digunakan dalam penelitian ini.

1. Regulator tak bermembran

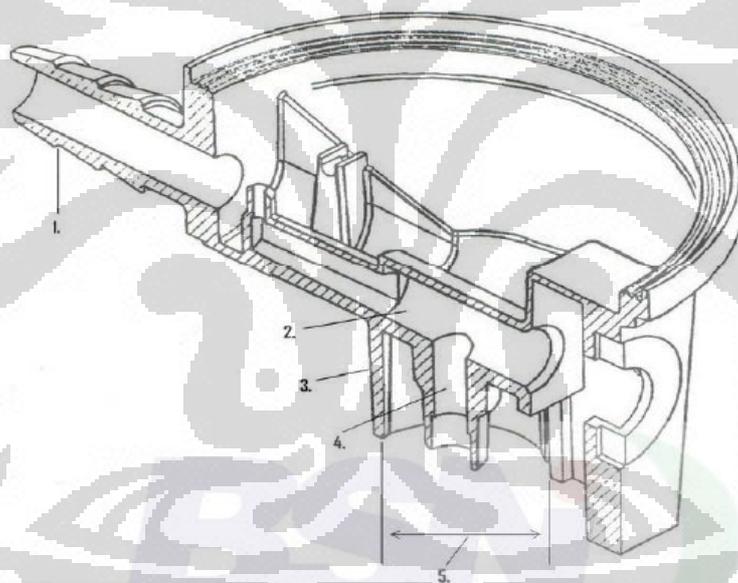
Regulator ini adalah regulator tabung gas LPG yang bagian membrannya sudah dipotong. Dengan kata lain, regulator disini tidak berfungsi sebagai pengatur tekanan keluar, melainkan hanya sebagai penghubung antara selang dan tabung. Tekanan yang keluar dari regulator ini, dapat sama besar dengan tekanan gas LPG yang ada didalam tabung.

Pemakaian regulator ini dimaksudkan agar fenomena aliran gas LPG yang keluar dari dalam tabung sebelum sampai ke regulator dapat diteliti.

2. Regulator bermembran  
regulator ini adalah regulator SNI yang biasa dipakai dalam kehidupan sehari-hari, tanpa ada perubahan atau modifikasi. Regulator ini mereduksi tekanan yang masuk menjadi hampir sama dengan tekanan atmosfer dan membuat tekanan stabil sehingga pembakaran menjadi stabil.

Sistem yang digunakan dalam regulator ini adalah sistem pengancing (clip-on system) dimana jarum regulator akan mendorong jarum katup tabung gas kedalam lalu menguncinya sehingga gas LPG dalam tabung keluar.

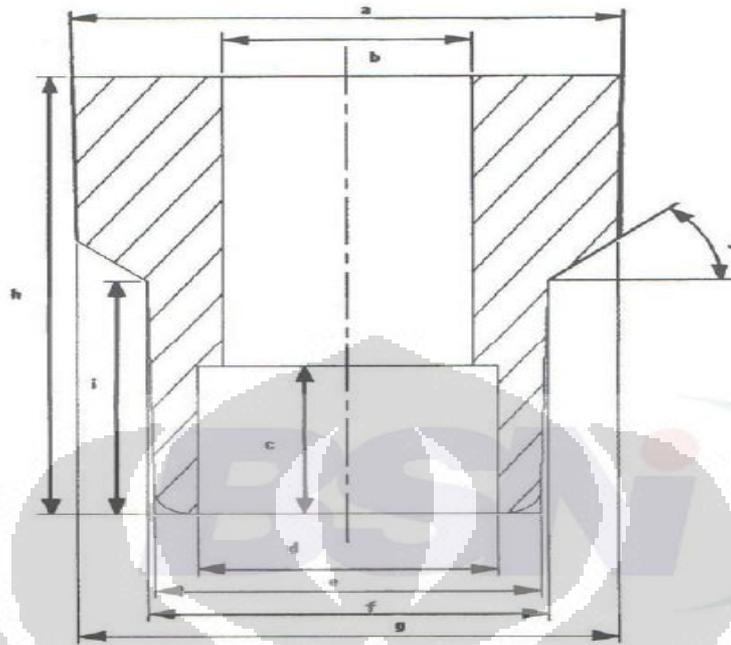
Ukuran Regulator SNI



**Keterangan:**

1. Saluran keluar
2. Ruang kunci pemutar
3. Penyambung katup tabung baja
4. Saluran masuk
5. Diameter dalam  $20_0^{+0,4}$  mm

Gambar 3.2 Diameter dalam penyambung katup tabung baja



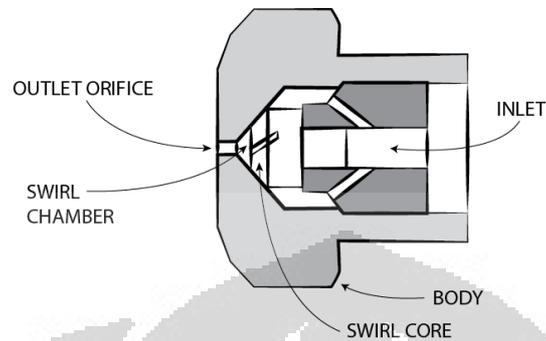
No	Uraian	Nilai
1	Diameter luar saluran masuk (a)	11 mm
2	Diameter dalam saluran masuk (b)	$(5 \pm 0,1)$ mm
3	Tinggi bagian dalam (c)	5 mm
4	Diameter bagian dalam saluran luar (d)	6 mm
5	Diameter sisi luar saluran keluar (e)	$(7,7 \pm 0,1)$ mm
6	Diameter ketirusan sisi luar saluran keluar (f)	$(8 \pm 0,1)$ mm
7	Diameter ketirusan saluran masuk (g)	$(10,8 - 10,95)$ mm
8	Tinggi spindel (h)	15 mm
9	Tinggi ketirusan bagian luar saluran keluar (i)	8 mm
10	Sudut ketirusan (j)	45°

Gambar 3.3 Dimensi Bagian saluran masuk

### III.1.3 selang

Selang digunakan untuk mengalirkan gas LPG sampai ke burner untuk dibakar. Dalam penelitian ini digunakan selang bening agar dapat diteliti fenomena-fenomena yang terjadi selama aliran gas melewati selang.

### III.1.4 Swirling Nozzle



Gambar 3.4 Swirling Nozzle

Swirling nozzle adalah nozzle yang bentuknya di desain agar aliran yang keluar berbentuk swirl atau melingkar. Di ujung nozzle dibentuk semacam ulir agar aliran yang keluar berputar. Swirl nozzle ini digunakan untuk melihat fenomena yang terjadi pada aliran gas LPG apabila melewatinya. Seperti yang kita ketahui bahwa gas LPG terdiri dari 2 fase yaitu gas dan cair. Fase cair akan melewati regulator apabila tabung terbalik atau terguling. Hal ini dikarenakan di tabung LPG, fase cair dari LPG memiliki ketinggian permukaan sendiri, dan apabila terguling dan posisi regulator berada sejajar atau bahkan lebih rendah dari posisi permukaan LPG cair, maka cairan akan melewati regulator.

Hal ini sangat berbahaya karena LPG cair memiliki tekanan yang lebih besar daripada LPG dalam bentuk gas. pemakaian swirl nozzle ini diharapkan dapat mengurangi resiko akan hal tersebut. Dengan keluaran aliran yang berputar (spray) cairan akan berubah bentuk menjadi butiran-butiran yang lebih kecil dan dapat dengan mudah dirubah fasenya menjadi gas.

Dalam penelitian, swirl nozzle yang digunakan adalah nozzle dari alat penyemprot air untuk tanaman.

### III.1.5 pipa Akrilik

Pipa akrilik adalah pipa plastic yang menyerupai kaca apabila dilihat, namun memiliki karakteristik yang jauh lebih baik dari kaca.

1. Akrilik mempunyai massa yang lebih ringan daripada kaca.
2. akrilik tidak mudah pecah dibandingkan kaca.
3. Akrilik mempunyai daya isolasi yang lebih baik dibandingkan kaca.
4. Akrilik mempunyai daya tahan terhadap panas yang lebih baik

Namun, terlepas dari keunggulan-keunggulan tersebut, akrilik memiliki kelemahan dibanding kaca. Harga akrilik relative mahal dan juga apabila terkena api secara langsung, akrilik akan meleleh.

Dalam penelitian ini, pipa akrilik digunakan untuk

1. melihat fenomena aliran yang keluar melalui swirling nozzle.
2. Tempat termokopel yang digunakan untuk mengukur suhu gas LPG sebelum memasuki regulator
3. Mengukur ketinggian cairan yang keluar dari tabung, setelah tabung digulingkan.

### III.1.6 Pressure Transducer

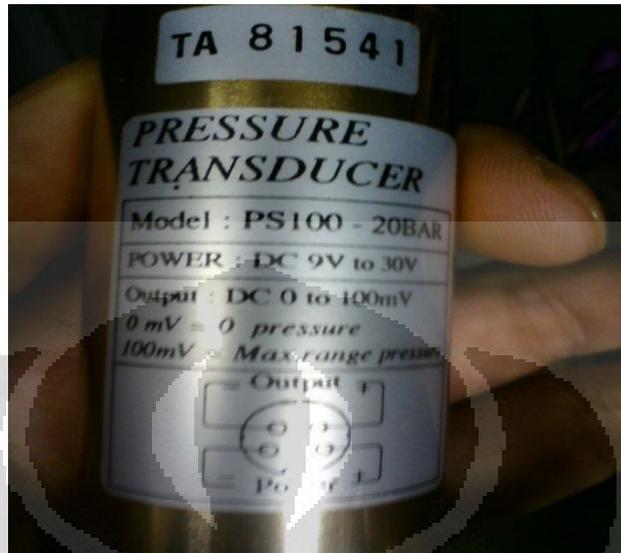
Transduser adalah sebuah alat yang mengubah satu bentuk daya menjadi bentuk daya lainnya untuk berbagai tujuan termasuk perubahan ukuran atau informasi (misalnya, sensor tekanan). Sensor/transducer tekanan pada umumnya menggunakan *strain gauge* sebagai sensornya. Strain gauge dapat mengubah sinyal tekanan menjadi sinyal listrik. Pada kenyataannya, perubahan tekanan ini akan membuat *strain gauge* memberikan nilai resistansi yang berbeda ketika terjadi perubahan luas penampangnya. Selanjutnya, hambatan yang berubah-ubah ini dapat kita konversikan menjadi bentuk tegangan atau arus yang berubah-ubah dengan menggunakan tambahan rangkaian.

Penelitian ini menggunakan 2 pressure transducer yang diletakkan sebelum dan sesudah regulator.

Spesifikasi pressure transducer:

Merk : LT Lutron

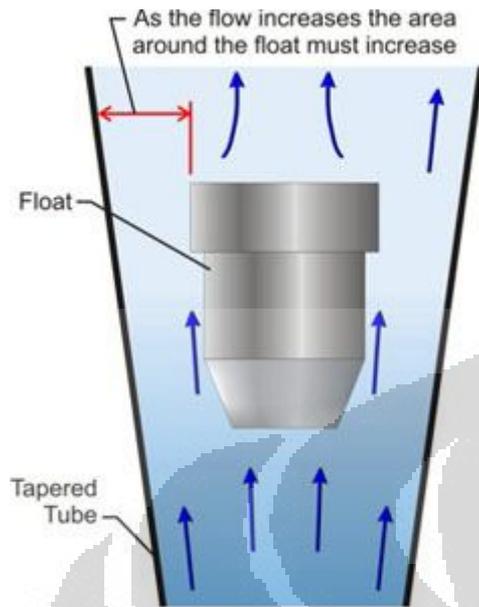
Tekanan Max : 20 bar dan 2 bar



Gambar 3.5 Pressure Transducer

### III.1.7 Rotameter

Rotameter adalah alat industry sederhana yang mengukur laju aliran gas atau cairan yang mengalir dalam sebuah tabung atau pipa yang tertutup. Rotameter banyak digunakan karena mempunyai skala yang linear, range pengukuran yang besar, penurunan tekanan yang rendah, mudah untuk dipasang, dan juga perawatannya yang tidak susah. Lau aliran fluida didalam rotameter diukur dengan menggunakan sebuah pelampung yang diangkat dengan adanya daya apung(buoyancy) dan juga kecepatan aliran yang melawan gaya gravitasi. Untuk aliran gas, gaya apung dianggap tidak ada, sehingga hanya berdasarkan kecepatan alirannya. Pelampung tersebut akan stabil ketika gaya angkat dan gaya gravitasi telah seimbang. Oleh karena itu ketika melakukan percobaan, pelampung tidak stabil untuk beberapa saat ketika dilakukan perubahan kecepatan aliran gas.



Gambar 3.5 cara kerja Rotameter

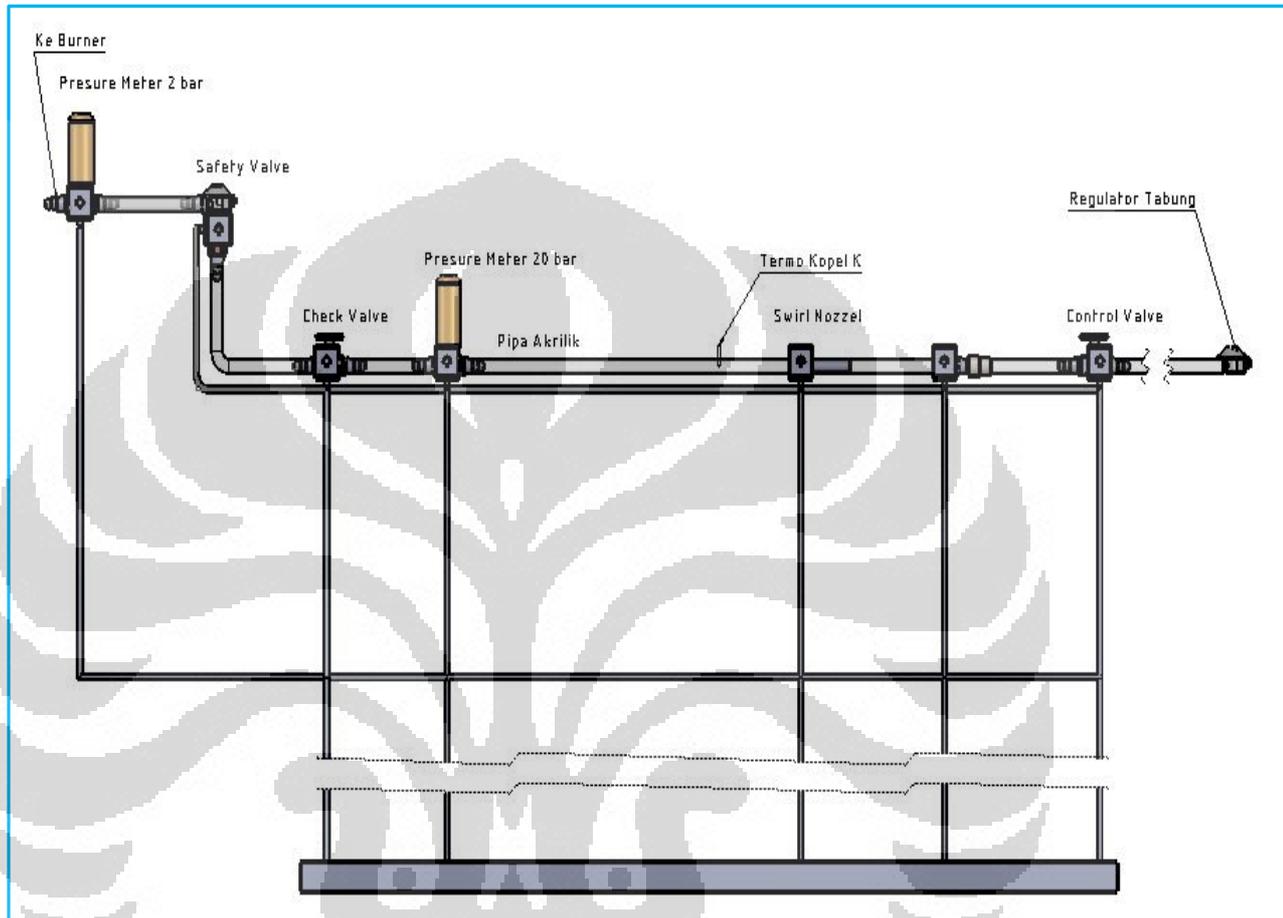
Tipe rotameter yang digunakan pada penelitian ini adalah *flame propagation and stability Unit P.A. Hilton Ltd C551*

### III.1.8 Bunsen Burner

merupakan sebuah alat untuk menggabungkan bahan bakar yang berupa gas dengan udara sebelum terjadi pembakaran. Dengan alat ini jumlah udara yang dibutuhkan dalam pengapian dapat dikendalikan sehingga dapat menghasilkan besar dan nyla api sesuai dengan keinginan kita. Dibandingkan dengan pembakaran yang hanyamenggunakan udara sekitar, tentunya pembakaran ini lebih baik. Alat ini diperkenalkan pertama kali oleh Robert Bunsen pada tahun 1855 yang namanya langsung digunakan sebagai nama alat ini. Bunsen burner merupakan awal dari terciptanya kompor gas dan tungku gas. Bunsen burner ini terdiri dari sebuah tabung logam yang dibagian bawahnya terdapat inlet bahan bakar gas dan udara.

## III.2 Metodologi Pengambilan Data

### III.2.1 Skema Peralatan Penelitian



### III.2.2 Prosedur Percobaan

#### III.2.2.1 Persiapan alat uji

1. Mempersiapkan tabung gas LPG 3 kg dengan cairan yang masih ada
2. Memasang alat ukur seperti pressure transducer dan termokopel
3. Menyambungkan konektor alat ukur ke komputer dan mensetting parameter data yang akan diambil
4. Mengetatkan sambungan-sambungan pada alat yang mempunyai ulir, seperti valve, regulator, pressure transducer, dan klep selang.
5. Mengetes kebocoran yang terjadi pada alat uji, seperti di regulator, pipa akrilik dan sambungan-sambungan lain dengan menggunakan air sabun.

### III.2.2.2 Pengukuran tekanan dan temperature

1. Memasang tabung gas LPG dengan regulator
2. Mencatat besarnya tekanan dan temperatur yang terukur pada pressure meter dan termokopel tiap satu menit selama 10 menit
3. Menggulingkan tabung gas LPG sebesar  $30^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ , dan  $90^{\circ}$  terhadap garis horizontal
4. Mencatat perubahan tekanan setiap satu menit selama sepuluh menit untuk setiap sudut gulingan tabung gas LPG
5. Mengalirkan gas LPG ke burner dengan membuka valve rotameter
6. Mengatur aliran gas LPG sebanyak 1,2,3, dan 4 skala rotameter
7. Mengatur kestabilan api dengan mengubah aliran udara yang masuk ke burner dengan rotameter.
8. Mengulangi langkah 3 dan 4.

Sudut	FFR	AFR	P1	P2

Tabel 3.1 Pengambilan data

## BAB IV

### ANALISA

#### IV. 1 Analisa Perhitungan

##### IV.1.1 Menghitung densitas LPG pada fasa Gas dan Liquid

a. Fasa Gas

$$m_m = \sum_{i=1}^k m_i$$

$$m_m = N_P M_P + N_B M_B$$

$$m_m = 0.3 \times 44.1 + 0.7 \times 58.12$$

$$m_m = 53.9 \text{ gr}$$

$$\rho_m = \sum_{i=1}^k X_i \rho_i$$

$$\rho_m = (0.3 \times 2.1) + (0.7 \times 2.48) = 2.36 \text{ kg/m}^3$$

b. Fasa Liquid

$$\rho_m = \sum_{i=1}^k X_i \rho_i$$

$$\rho_m = (0.3 \times 581.2) + (0.7 \times 600) = 594.36 \text{ kg/m}^3$$

#### IV.1.2 Menghitung Viskositas LPG pada fasa Gas dan Liquid

Butana	
$\mu$	6.8E-06 Pa.s, liquid (0 °C, 1 atm)
	8.4E-06 Pa.s, Gas (15°C, 1atm)
Molar Mass	58.12 g mol <sup>-1</sup>

Propana	
$\mu$	8E-06 Pa.s, Liquid (0 °C, 1 atm)
	8.029E-06 Pa.s, Gas (15 °C, 1 atm)
Molar Mass	44.1 g mol <sup>-1</sup>

a. Fasa Gas

$$\mu_g = \frac{\sum(\mu_{gi}x_i\sqrt{M_i})}{\sum(x_i\sqrt{M_i})}$$

$\mu_g$

$$= \frac{\{(8.029E - 06)x(0.3)x\sqrt{44.1}\} + \{(8.4E - 06)x(0.7)x\sqrt{58.12}\}}{(0.3)x\sqrt{44.1} + (0.7)x\sqrt{58.12}}$$

$$\mu_g = 8.299E - 06 \text{ Pa.s}$$

b. Fasa Liquid

$$\mu_L = \frac{\{(8E - 06)x(0.3)x\sqrt{44.1}\} + \{(6.8E - 06)x(0.7)x\sqrt{58.12}\}}{(0.3)x\sqrt{44.1} + (0.7)x\sqrt{58.12}}$$

$$\mu_L = 7.124E - 06 \text{ Pa.s}$$

### IV.1.3 Menghitung Densitas Aliran LPG Yang Homogen

Data: Tinggi Liquid di sepanjang pipa akrilik 9 mm

Tinggi Gas di sepanjang pipa akrilik 2 mm

$$A \text{ akrilik: } \pi r^2 = 3.14 \times (5.5 \times 10^{-3})^2 = 0.000094985 \text{ m}^2$$

$$\alpha = \frac{A_V}{A} \text{ atau } 1 - \alpha = \frac{A_L}{A}$$

$$\dot{m}_V = \rho_V \cdot \mu_V \cdot \alpha \cdot A$$

$$\dot{m}_V = 2.36 \times 11.788 \times 10^{-6} = 0.0000278 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_L = \rho_L \cdot \mu_L \cdot (1 - \alpha) \cdot A$$

$$\dot{m}_L = 594.36 \times 83.196 \times 10^{-6} = 0.0494 \text{ kg/s}$$

$$x = \frac{\dot{m}_V}{\dot{m}} \rightarrow \dot{m} = \dot{m}_V + \dot{m}_L$$

$$\dot{m} = 0.0000278 \text{ kg/s} + 0.0494 \text{ kg/s} = 0.04947 \text{ kg/s}$$

$$x = \frac{\dot{m}_V}{\dot{m}} = \frac{0.0000278}{0.0494} = 0.0005627$$

$$\frac{1}{\rho_h} = \frac{x}{\rho_V} + \frac{1-x}{\rho_L}$$

$$\frac{1}{\rho_h} = \frac{0.0005627}{2.36} + \frac{1-0.0005627}{594.36} = 0.001919 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \rho_h$$

$$= 520.85 \text{ kg/m}^3$$

#### IV.1.4 Menghitung Kecepatan Aliran Dua Fasa (Kecepatan Vapour atau Liquid)

Data:

Volume cairan di Pipa pada (mf=1;ma=14) = **0.02246** liter atau 87.58 %

$\rho_L = 594.36 \text{ kg/m}^3$

$\rho_v = 2.36 \text{ kg/m}^3$

$$x = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}} = \frac{0.000278}{0.0494} = 0.0005627$$

Tinggi Liquid (mm)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Panjang Pipa (mm)	Volume Cairan (mm <sup>3</sup> )
1	4.29	270	1158.33
<b>2</b>	<b>11.87</b>	<b>270</b>	<b>3182.79</b>
3	20.97	270	5664.19
4	31.2	270	8424.98
5	42.001	270	11340.4
5.5	47.49	270	12822.97
6	52.979	270	14305.54
7	63.78	270	17220.96
8	74.01	270	19981.75
<b>9</b>	<b>83.11</b>	<b>270</b>	<b>22463.15</b>
10	90.69	270	24487.61
11	94.98	270	25645.94

Tabel 4.1 volume cairan pada akrilik

$$s = \frac{C_v}{C_L} = \frac{\rho_L x (1 - \alpha)}{\rho_v (1 - x)\alpha}$$

$$s = \frac{C_v}{C_L} = \frac{594.36 (0.0005627 (1 - 0.1249))}{2.36 (1 - 0.0005627)0.1249}$$

$$s = \frac{C_v}{C_L} = \frac{0.292}{0.294}$$

Atau

$$\alpha = \frac{A_v}{v} \text{ atau } 1 - \alpha = \frac{A_L}{A}$$

$$\alpha = \frac{A_v}{v} = \frac{11.87}{94.98} = 0.1249$$

$$\alpha = \frac{1}{1 + \left( \frac{C_v(1-x)\rho_L}{C_L x \rho_L} \right)}$$

$$\left( \frac{2.358 C_v}{0.334 C_L} \right) = \frac{1}{0.1249} - 1$$

$$\left( \frac{2.358 C_v}{0.334 C_L} \right) = 7.006$$

$$2.358 C_v = 7.006 (0.334 C_L)$$

$$2.358 C_v = 2.340 C_L$$

$$\frac{C_v}{C_L} = \frac{2.340}{2.358}$$

#### IV.1.5 Menghitung besarnya koefisien gradien tekanan yang terjadi sepanjang aliran pipa.

Data LPG:

$$D \text{ akrilik} = 0.015 \text{ m}$$

$$\mu_v = 8.299 \text{ E} - 06 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$\rho_v = 2.36 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_L = 7.124 \text{ E} - 06 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$\rho_L = 594.36 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 2.292 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \text{K}$$

$$x = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}} = \frac{0.0000278}{0.0494} = 0.0005627$$

$$\lambda^2 = \frac{P_L}{P_v} = \left( \frac{1-x}{x} \right)^{1.75} \cdot \frac{\rho_v}{\rho_L} \left( \frac{\mu_L}{\mu_v} \right)^{0.25}$$

$$\lambda^2 = \frac{P_L}{P_v} = \left( \frac{1-0.0005627}{0.0005627} \right)^{1.75} \cdot \frac{2.36}{594.36} \left( \frac{7.12}{8.29} \right)^{0.25}$$

$$\lambda = 43.098$$

## IV.2. Analisa grafik

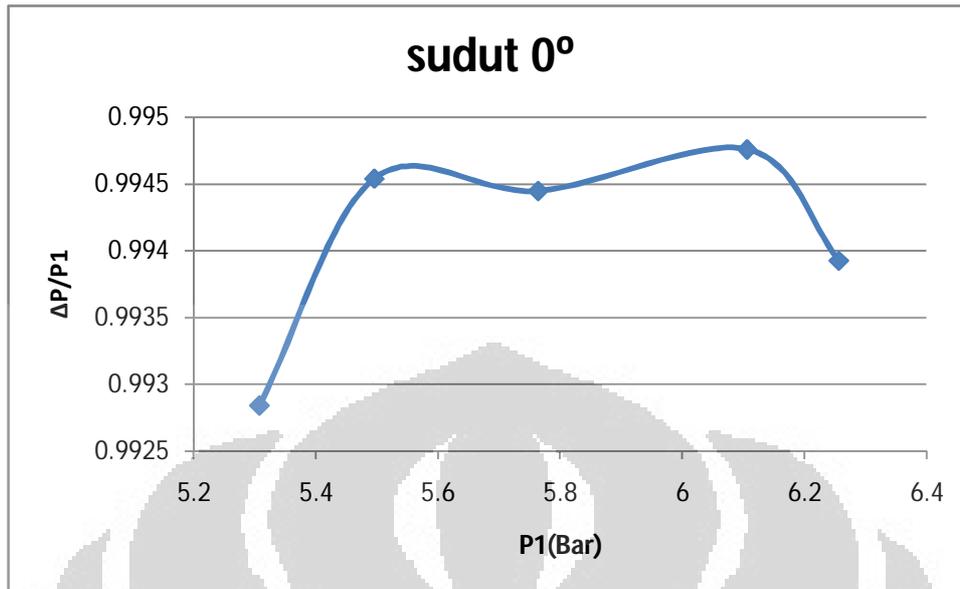
- Tekanan SNI:
  - Tekanan masuk 7 bar
  - Tekanan keluar minimum 28 mbar  $\pm$  4.7 mbar
  - $\Delta P/P1$  max = 0.996671
- Sudut  $0^0$

*Fuel Feed Ratio (FFD)* adalah kecepatan aliran gas LPG yang diatur besarnya melalui rotameter.

*Air feed ratio (AFR)* adalah kecepatan aliran udara yang diatur melalui rotameter. besarnya AFR ditentukan besarnya sampai api menjadi stabil. Pada penelitian ini panjang api saat stabil adalah 14 cm.

FFR	AFR	p1	P2	$\Delta P$	$\Delta P/P1$
0	0	6.256	0.038	6.218	0.993926
0.0157	0.332	6.106	0.032	6.074	0.994759
0.018	0.443	5.764	0.032	5.732	0.994448
0.0216	0.548	5.496	0.03	5.466	0.994541
0.0258	0.59	5.308	0.038	5.27	0.992841

Tabel 4.1 Data percobaan pada sudut tabung LPG  $0^0$



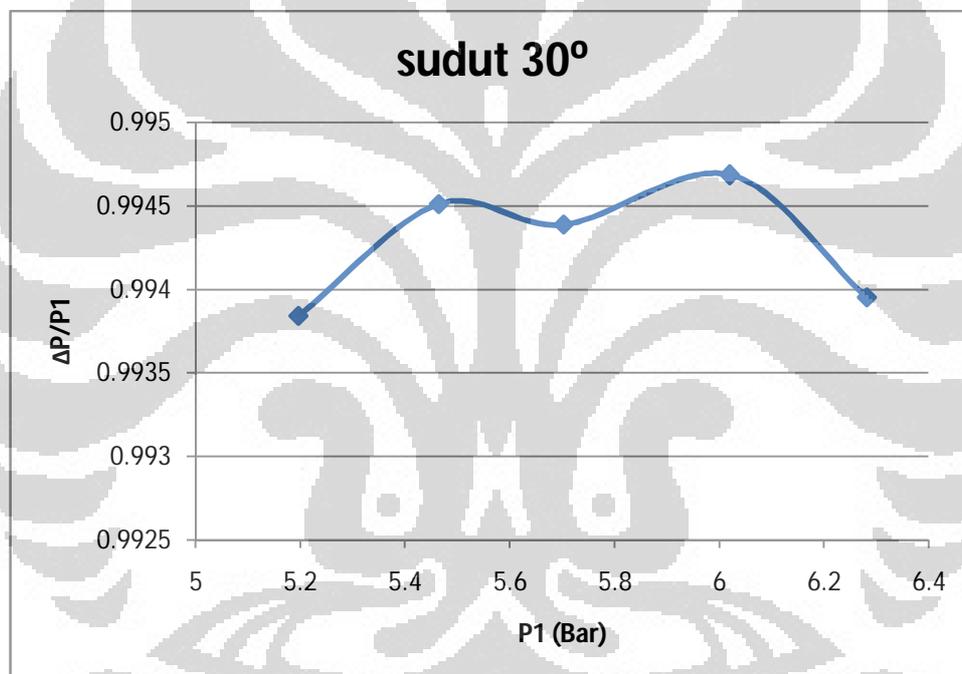
Grafik 4.1 kestabilan regulator pada sudut  $0^{\circ}$

Dari grafik dapat kita lihat semakin tinggi kecepatan aliran yang diberikan, tekanan aliran menjadi berkurang, baik sebelum ataupun sesudah regulator. Hal ini diakibatkan evaporasi yang terjadi pada tabung. Saat aliran keluar dari tabung, LPG yang berfase gas semakin berkurang sehingga untuk menstabilkan tekanan didalam tabung, fase cair dari LPG berubah menjadi uap. Panas yang digunakan untuk mengubah fase cair ke gas didapat dari cairan itu sendiri dan juga udara dari lingkungan. Penurunan tekanan sebelum memasuki regulator turun secara linear seiring bertambahnya permintaan gas. tekanan yang keluar dari regulator dapat dikatakan konstan. Penurunan tekanan yang terjadi tidak sebesar perubahan tekanan pada tekanan sebelum regulator. Hal ini dikarenakan fungsi regulator yang menstabilkan tekanan keluar.

- Sudut  $30^0$

FFR	AFR	P1	P2	$\Delta P$	$\Delta P/P1$
0	0	6.282	0.038	6.244	0.993951
0.0157	0.332	6.02	0.032	5.988	0.994684
0.018	0.443	5.702	0.032	5.67	0.994388
0.0216	0.548	5.464	0.03	5.434	0.99451
0.0258	0.59	5.196	0.032	5.164	0.993841

Table 4.2 Data percobaan pada sudut tabung LPG  $30^0$



Grafik 4.2 kestabilan regulator pada sudut  $30^0$

Bentuk grafik antara sudut  $0^0$  dan sudut  $30^0$  tidak jauh berbeda. Tekanan yang keluar dari regulator juga menunjukkan fenomena yang terjadi pada saat tabung tidak digulingkan. Perbedaan yang terjadi antara 2 grafik ini terdapat dari besarnya perubahan yang terjadi.

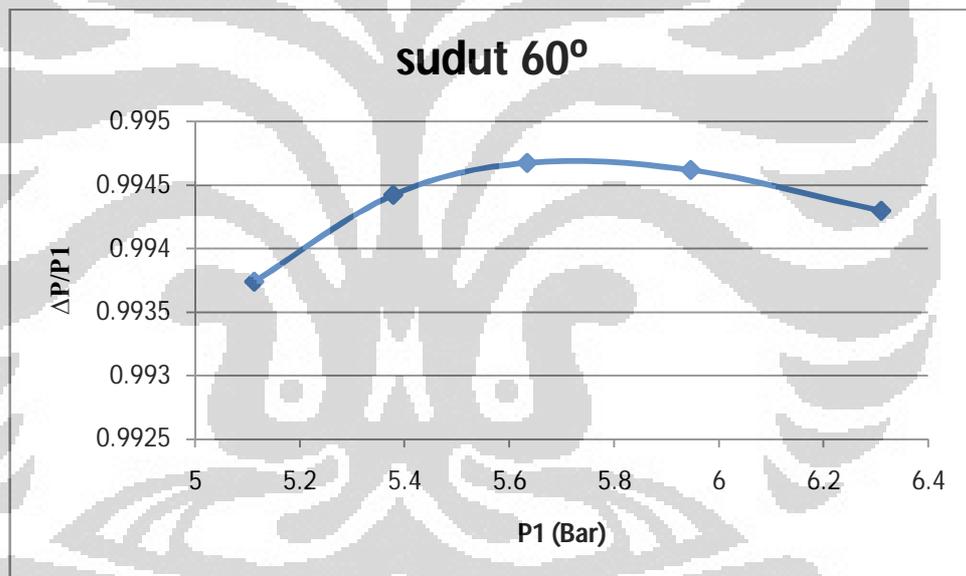
Tekanan sebelum regulator menurun seiring digulingkannya tabung gas. hal ini dikarenakan gas yang keluar dari tabung semakin banyak sehingga cairan yang berubah fase menjadi uap menjadi semakin banyak dan membuat

tekanan keluar menjadi turun. Tekanan yang keluar dari regulator tetap konstan.

- Sudut  $60^{\circ}$

FFR	AFR	P1	P2	$\Delta P$	$\Delta P/P1$
0	0	6.31	0.036	6.274	0.994295
0.0157	0.332	5.946	0.032	5.914	0.994618
0.018	0.443	5.634	0.03	5.604	0.994675
0.0216	0.548	5.378	0.03	5.348	0.994422
0.0258	0.59	5.112	0.032	5.08	0.99374

Table 4.3 Data percobaan pada sudut tabung LPG  $60^{\circ}$



Grafik 4.3 kestabilan regulator pada sudut  $60^{\circ}$

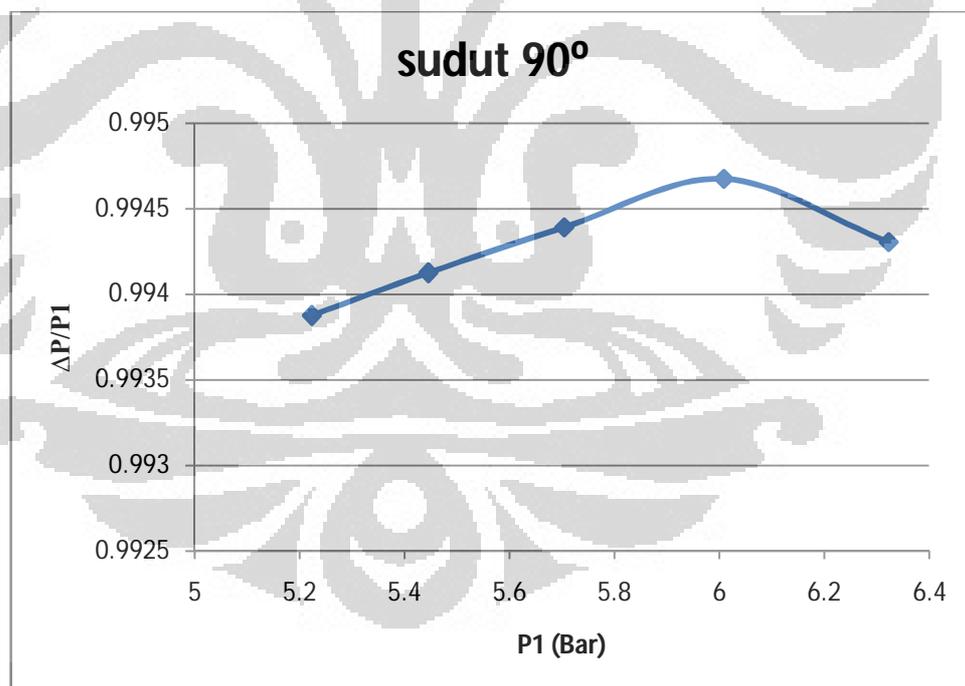
Pola dari grafik ini sudah berbeda dengan kedua grafik sebelumnya. pada tiga kecepatan aliran awal, grafik naik sedangkan pada dua kecepatan terakhir grafik menurun. Semakin besar sudut gulingan semakin kecil tekanan yang keluar dari tabung. Pada saat tabung di gulingkan sebesar  $30^{\circ}$  dengan kecepatan aliran 0.0157 l/s tekanan gas sebelum masuk ke regulator (P1) sebesar 6.02 bar sedangkan pada saat regulator digulingkan sebesar  $60^{\circ}$  besar P1 adalah 5.946 bar. Pada kecepatan aliran 0.018 l/s, tekanan saat tabung

digulingkan  $30^{\circ}$  sebesar 5.07 dan saat tabung digulingkan  $60^{\circ}$  sebesar 5.634 bar. Begitu juga pada kecepatan aliran 0.0216 l/s dan 0.0258 l/s. tekanan keluar regulator masih tetap konstan. Perubahan yang terjadi tidak signifikan.

- Sudut  $90^{\circ}$

FFR	AFR	p1	P2	$\Delta P$	$\Delta P/P1$
0	0	6.322	0.036	6.286	0.994306
0.0157	0.332	6.008	0.032	5.976	0.994674
0.018	0.443	5.704	0.032	5.672	0.99439
0.0216	0.548	5.446	0.032	5.414	0.994124
0.0258	0.59	5.224	0.032	5.192	0.993874

Tabel 4.4 Data percobaan pada sudut tabung LPG  $90^{\circ}$

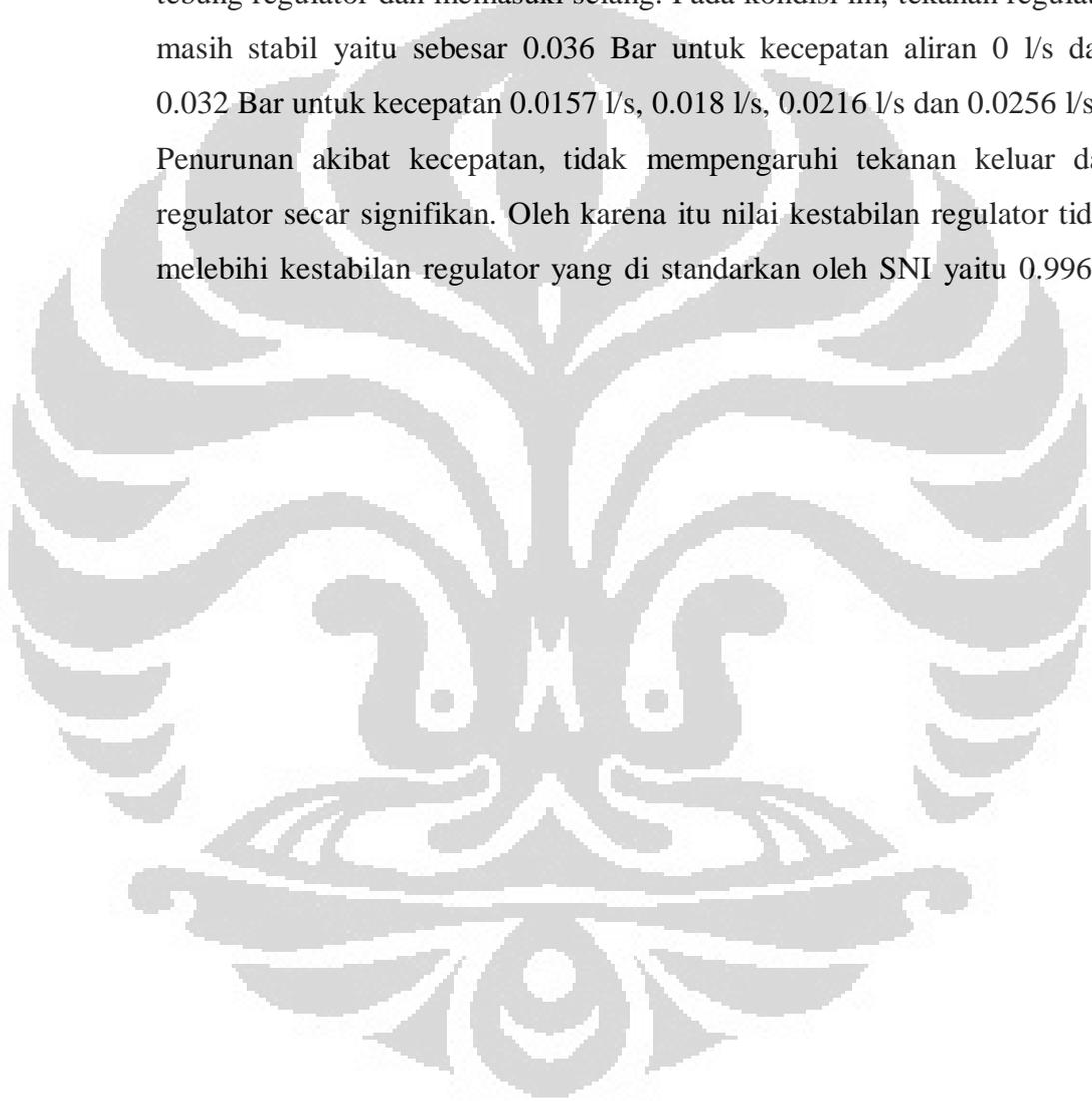


Grafik 4.4 kestabilan regulator pada sudut  $90^{\circ}$

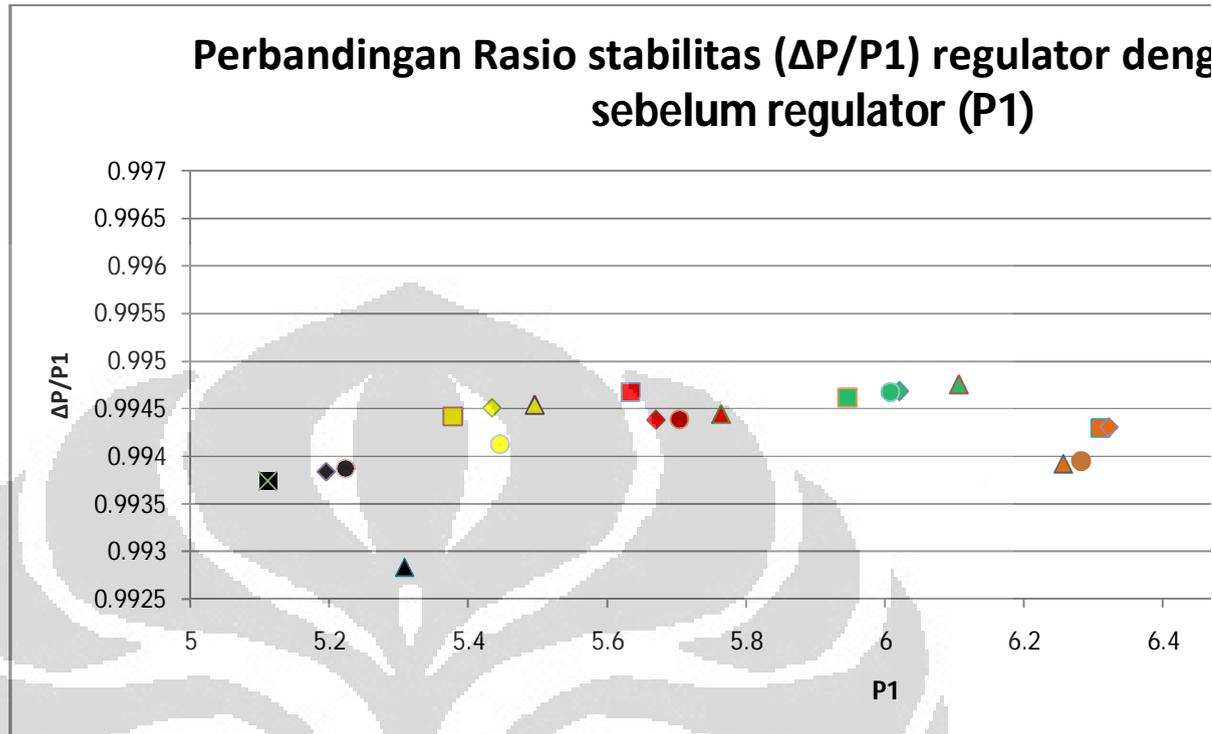
Pola yang terjadi pada saat tabung digulingkan dengan sudut  $60^{\circ}$  dan  $90^{\circ}$  tidak jauh berbeda membentuk sebuah garis lengkung.

Tekanan gas yang keluar dari regulator tetap stabil, walaupun tekanan sebelum regulator naik. pada saat sudut gulingan mencapai  $90^{\circ}$ , disinilah tekanan sebelum regulator mencapai titik tertinggi disetiap kecepatan aliran. Hal ini dikarenakan adanya tekanan fase cair yang sudah keluar dari tabung regulator dan memasuki selang. Pada kondisi ini, tekanan regulator masih stabil yaitu sebesar 0.036 Bar untuk kecepatan aliran 0 l/s dan, 0.032 Bar untuk kecepatan 0.0157 l/s, 0.018 l/s, 0.0216 l/s dan 0.0256 l/s.

Penurunan akibat kecepatan, tidak mempengaruhi tekanan keluar dari regulator secara signifikan. Oleh karena itu nilai kestabilan regulator tidak melebihi kestabilan regulator yang di standarkan oleh SNI yaitu 0.99667



- **Grafik Gabungan**



Keterangan Grafik:

**Warna**

- Hitam : kecepatan aliran 0.0258 l/s
- Kuning: kecepatan aliran 0.0216 l/s
- Merah : kecepatan aliran 0.0216 l/s
- Hijau : kecepatan aliran 0.0157 l/s
- Jingga: kecepatan aliran 0 l/s
- Garis Hijau : tekanan SNI

**Bentuk:**

- segitiga : Sudut  $0^{\circ}$
- Diamond : sudut  $30^{\circ}$
- kotak : sudut  $60^{\circ}$
- Lingkaran : sudut  $90^{\circ}$

Dari grafik jelas terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan aliran semakin rendah pula tekanan yang keluar dari tabung. Semakin besar kecepatan posisi dari tekanan bergerak ke kiri. Semakin tinggi kecepatan aliran membuat semakin rendah tekanan gas LPG yang ada di dalam tabung. Hal ini dikarenakan energi statik berupa tekanan yang dimiliki oleh gas dikonversi menjadi energi kinetik berupa kecepatan. Untuk mencapai titik setimbang seperti saat regulator masih tertutup, maka fase cair dari LPG menguap. Energi panas yang digunakan untuk menguap diambil dari suhu ruangan dan suhu cairan itu sendiri.

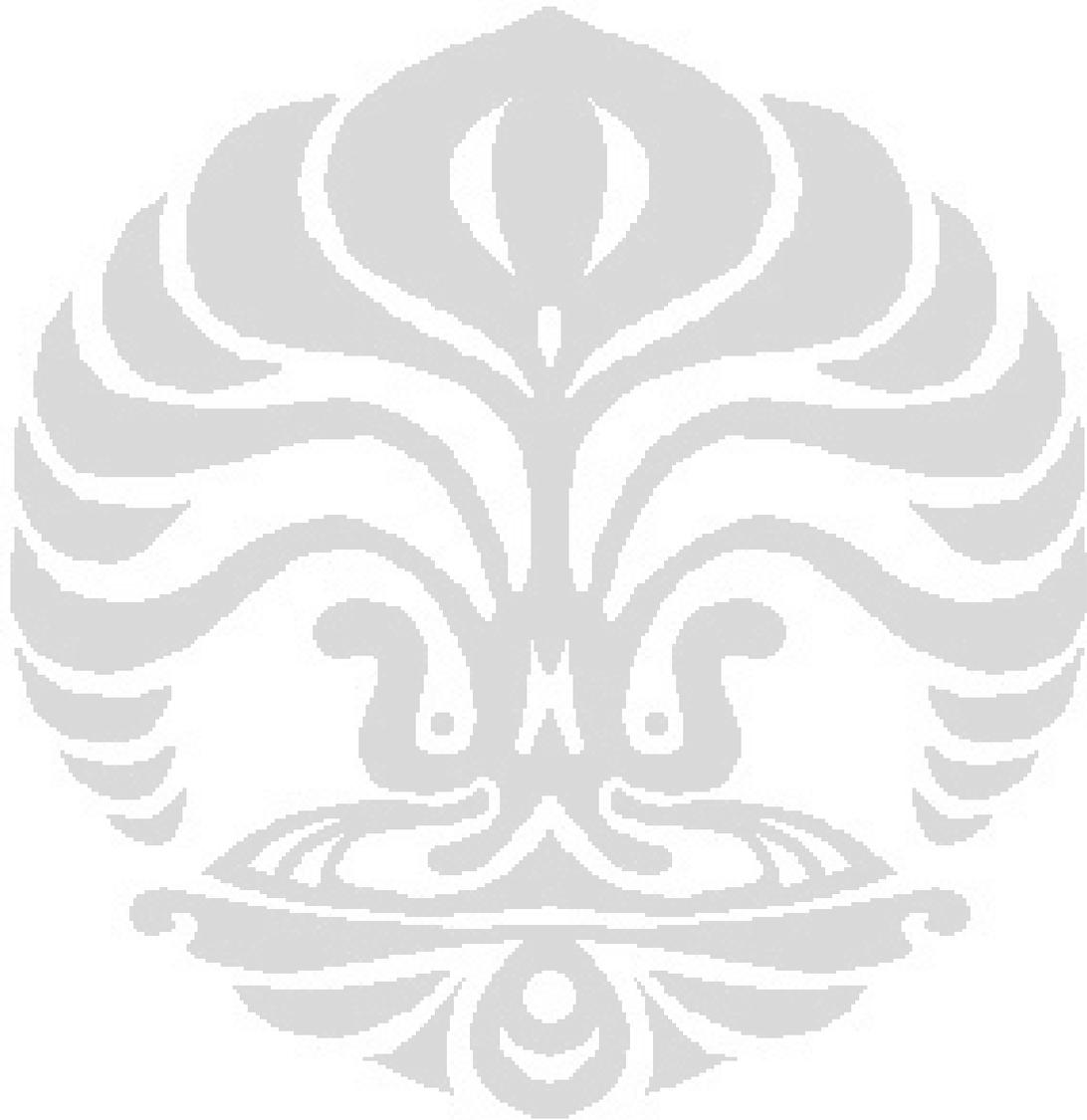
Pada saat kecepatan aliran 0 l/s tekanan gas LPG meninggi seiring dengan digulingkannya tabung LPG. Dari data yang diperoleh pada saat kecepatan 0 l/s tekanan pada saat tabung digulingkan  $0^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ , dan  $90^{\circ}$  secara berurutan adalah 6.256 bar, 6.282 bar, 6.31 bar, dan 6.322 bar. Pada saat tidak ada aliran yang keluar, tekanan gas didalam tabung stabil. Namun saat tabung digulingkan tekanan dipermukaan LPG cair menjadi berubah sehingga kondisinya tidak stabil lagi. Tekanan yang terukur pada P1 dipengaruhi oleh tekanan dari fase cair yang lebih besar dan mengakibatkan tekanan menjadi naik.

Keadaan berbeda terjadi saat ada aliran gas atau regulator sebagai valve terbuka. Data yang didapat adalah terjadinya penurunan setiap besarnya gulingan  $0^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ , dan  $60^{\circ}$ . Pada saat kecepatan aliran sebesar 0.0157 l/s tekanan P1 yang terukur adalah 6.106 bar, 6.02 Bar, dan 5.946 Bar. Saat kecepatan aliran sebesar 0.018 l/s tekanan P1 yang terukur adalah 5.764 Bar, 5.702 Bar, dan 5.634 Bar. Begitu juga untuk kecepatan 0.0216 l/s dan 0.0258 l/s. hal ini terjadi karena kecepatan aliran semakin tinggi saat tabung digulingkan. Namun pada saat tabung digulingkan sebesar  $90^{\circ}$  tekanan menjadi naik. Kenaikan tekanan ini dikarenakan fase cair LPG sudah keluar dari tabung dan memasuki selang. Tekanan LPG cair ini membuat tekanan yang terukur menjadi semakin besar.

Pada aliran dua fase penurunan tekanan total merupakan penjumlahan penurunan tekanan statik, penurunan tekanan akibat friksi dengan dinding pipa dan penurunan akibat perubahan momentum. Penurunan tekanan paling besar yang terjadi di regulator ialah penurunan akibat perubahan momentum. Penurunan

akibat friksi, belokan dan juga tekanan statik diabaikan karena nilainya sangat kecil.

Dalam setiap perubahan kecepatan aliran, regulator masih bekerja sesuai dengan tekanan desain yang ditentukan oleh SNI sehingga terjadi tidak terjadi Lock Up. Dari grafik terlihat semua titik berada dibawah tekanan SNI.



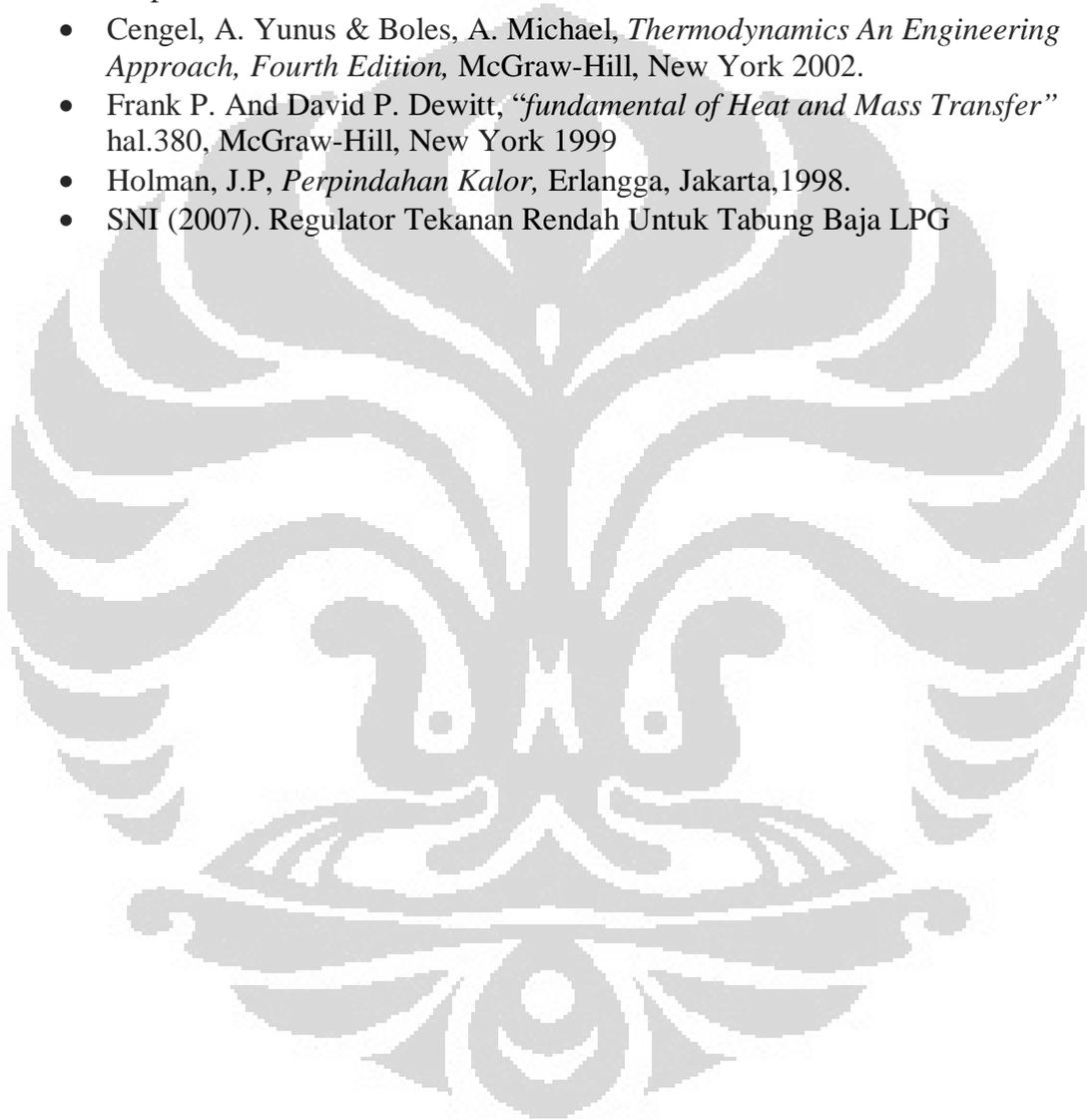
## BAB V

### KESIMPULAN

- Aliran LPG yang melalui regulator merupakan aliran dua fase dengan model terpisah (*separated flow*). Terdapat perbedaan kecepatan antara fasa cair dan fasa gas dalam aliran.
- Penurunan tekanan yang terjadi pada aliran sesudah dan sebelum regulator sebagian besar disebabkan oleh perubahan kecepatan aliran dan pengecilan luas penampang yang dilalui aliran. Semakin tinggi kecepatan aliran, maka tekanan yang keluar dari tabung gas semakin kecil.
- Pengecilan penampang mengakibatkan kecepatan aliran menjadi semakin cepat sehingga tekanan yang keluar dari regulator berkurang secara signifikan.
- Regulator berfungsi sebagai penurun dan penstabil tekanan aliran LPG yang menuju ke ruang pembakaran (*burner*). Regulator menurunkan tekanan dengan menggunakan metode pengecilan penampang (*nozzle*), sedangkan untuk menstabilkan tekanan regulator menggunakan tekanan pegas yang ada di dalamnya untuk menekan aliran agar tekanan menjadi stabil.
- Regulator LPG bekerja secara normal pada kisaran kecepatan aliran 0 l/s sampai 0.0258 l/s. tekanan yang keluar dari regulator tetap stabil antara 0.03 Bar sampai 0.038 Bar untuk setiap gulingan tabung dan kecepatan aliran. Tekanan ini dibawah tekanan yang telah ditetapkan oleh SNI yaitu 41 mbar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Sumarli & Indarto (2001). Penurunan tekanan aliran dua fase gas-cair melewati *sudden contraction*, Media Teknik No.2 tahun XXIII
- Muhajir, Khairul (2009). Karakterisasi Aliran Fluida Gas-Cair Melalui Pipa *Sudden Contraction*, Jurnal Teknologi Vol. 2, No.2
- Wolverine tube, inc(2006). Two phase Pressure Drops. Engineering data book chapter 13.
- Cengel, A. Yunus & Boles, A. Michael, *Thermodynamics An Engineering Approach, Fourth Edition*, McGraw-Hill, New York 2002.
- Frank P. And David P. Dewitt, "*fundamental of Heat and Mass Transfer*" hal.380, McGraw-Hill, New York 1999
- Holman, J.P, *Perpindahan Kalor*, Erlangga, Jakarta,1998.
- SNI (2007). Regulator Tekanan Rendah Untuk Tabung Baja LPG



## LAMPIRAN

