



UNIVERSITAS INDONESIA

PENGARUH BESARNYA SUDUT ROTASI POSISI PUTAR  
TABUNG LPG TERHADAP PERUBAHAN TEKANAN DAN  
TEMPERATUR GAS LPG SETELAH SWIRL NOZZLE

SKRIPSI

ECO SUDRAJAD HUTAHAEAN

0806330005

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JANUARI 2012

Universitas Indonesia



UNIVERSITAS INDONESIA

EFFECT OF ROTATION ANGLE EQUAL TO PLAY TUBE  
POSITION LPG CHANGES OF PRESSURE AND TEMPERATURE  
GAS LPG AFTER SWIRL NOZZLE

SKRIPSI

ECO SUDRAJAD HUTAHAEAN

0806330005

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JANUARI 2012

Universitas Indonesia

**HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS**

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

Nama : Eco Sudrajad Hutahaeen

NPM : 0806330005

Tanda Tangan : 

Tanggal : 28 Desember 2011

Universitas Indonesia

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Eco Sudrajad Hutahaean

NPM : 0806330005

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Pengaruh Besarnya Sudut Rotasi Posisi Putar  
Tabung LPG Terhadap Perubahan Tekanan  
dan Temperatur Setelah Swirl Nozzle

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

Dewan Penguji : Prof.Dr.Ir. I Made Kartika D.,Dipl.-Ing.

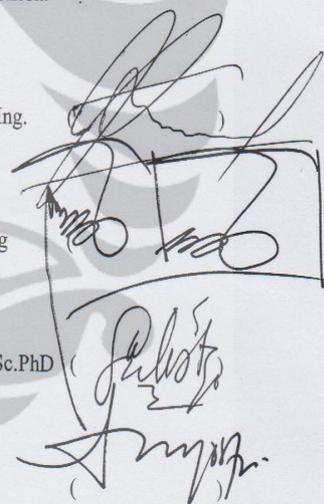
Penguji : Prof.Dr.Ir. Bambang Sugiarto, MEng

Penguji : Prof.Dr.Ir. Yulianto S. Nugroho, MSc.PhD

Penguji : Dr.Ir. Adi Suryosatyo, MEng

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Januari 2012



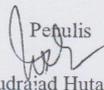
## UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur kehadiran Tuhan Yesus Kristus atas berkat, rahmat dan bimbingannya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Selain itu saya juga ingin mengucapkan terimakasih kepada berbagai pihak:

1. Untuk Bapak dan Mama yang selalu medoakan saya, memberi dukungan moral untuk tetap semangat dalam pengerjaan skripsi dan materiil juga.
2. Bapak Prof.Dr.Ir. I Made Kartika Dhiputra, Dipl.-Ing. Sebagai pembimbing skripsi saya, telah banyak meluangkan waktu dan tenaga dalam membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Prof.Dr.Ir. Bambang Sugiarto, MEng
4. Prof.Dr.Ir. Yulianto S. Nugroho, MSc.PhD
5. Dr.Ir. Adi Suryosatyo, MEng
6. Seluruh karyawan DTM FTUI khusus di Lab. Mekanika yang telah banyak membantu penulis.
7. Rechman, Ferdi, Repli, Mas Setia, Eko dan Mas Irfan sebagai teman satu tim dalam penelitian di lab.
8. Eka Yanti F Sinaga, AMG yang selalu mensupport saya.
9. Anak-anak mesin 2008 yang telah membantu dan mendoakan penulis.
10. Teman-teman lain yang memberikan semangat dalam penulisan.

Penulis menyadari bahwa dalam ppenulisan laporan akhir ini masih banyak kekurangan, baik dalam cara penulisan maupun pengolahan data. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dari para pembaca agar menjadi masukan bagi penulis selanjutnya. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi para pembaca.

Depok, Desember 2011

Penulis  
  
Eco Sudrajad Hutahaeen

NPM: 0806330005

Universitas Indonesia

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

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

Nama : Eco Sudrajad Hutahaean

NPM : 0806330005

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** atas karya saya yang berjudul :

**Pengaruh Besarnya Sudut Rotasi Posisi Putar Tabung LPG Terhadap  
Perubahan Tekanan dan Temperatur Setelah Swirl Nozzle**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*data base*).

Penggunaan data informasi yang tercantum dalam skripsi ini untuk maksud publikasi ilmiah dan populer hanya dapat dilakukan oleh penelitian utama atau atas ijin tertulis dari peneliti utama.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 23 Desember 2011

Yang Menyatakan  
  
(Eco Sudrajad Hutahaean)

Universitas Indonesia

## ABSTRAK

Penelitian yang dilakukan ini mengenai fenomena vapour lock. Vapour lock dapat terjadi jika tekanan tekanan pada regulator melebihi 41mbar. Dengan adanya perbedaa posisi sudut tabung gas LPG akan menaikkan tekanan. Pada kondisi fuel flow rate = 0 liter/s tidak akan terjadi fenomena aliran dua-fasa. Sedangkan ketika fuel flow rate 1,2,3,4 akan terjadi fenomena aliran dua fasa dimana cairan dari tabung LPG pada posisi  $90^0$  akan mengalir melalui swirl nozzle kemudian mengalami penguapan dan tekanan akan naik terus sampai sistem dalam keadaan setimbang. Fokus utama dari penelitian ini yang akan dilakukan adalah mengamati pengaruh dari posisi sudut kemiringan tabung gas serta variasi dari fuel flow rate. Data diambil dalam kondisi stabil. Sehingga didapat hubungan  $\Delta P$  dengan  $\phi$  dan hubungan T dengan  $\phi$  untuk setiap fuel flow rate berbeda yang tidak terpengaruh dengan kondisi sistem.

Kata Kunci:

Sudut, tekanan, temperatur, swirl nozzle, fuel flow rate

## ABSTRACT

The study was conducted on the phenomenon of vapor lock. Vapor lock may occur if the pressure exceeds the pressure on the regulator 41mbar. With the angular position perbedaa LPG gas cylinders will increase the pressure. In conditions of fuel flow rate = 0 liters / s not going to happen two-phase flow phenomena. Meanwhile, when the fuel flow rate will occur 1,2,3,4 two-phase flow phenomena in which the fluid from the cylinder LPG at position  $90^0$  will flow through the swirl nozzle is then subjected to evaporation and the pressure will rise continues until the system is in a state of equilibrium. The main focus of this research to be done is to observe the influence of the position angle variation of gas cylinders and fuel flow rate. Data taken in stable condition. Thus obtained  $\Delta P$  relationship with  $\phi$  and T with relationship for each different fuel flow rate is not affected by the condition of the system.

Keyword:

Angle, pressure, temperature, swirl nozzle, fuel flow rate

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
UCAPAN TERIMAKASIH.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMBANG.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH.....	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	2
1.4 BATASA MASALAH.....	3
1.5 METODOLOGI PENELITIAN.....	4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	4
BAB 2 DASAR TEORI.....	6
2.1 KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR LPG.....	6
2.2 KOMPONEN LPG.....	7
2.2.1 Butana.....	7
2.2.2 Propana.....	8

2.3	PENCAMPURAN GAS.....	9
2.3.1	Pencampuran Homogen .....	10
2.4	ALIRAN DUA-FASA.....	12
2.4.1	Model aliran dua-fasa .....	12
2.4.2	Modela aliran terpisah.....	12
2.4.3	Pola aliran dua-fasa .....	15
2.5	FAKTOR KOMPRESIBILITAS .....	16
2.5.1	Pseudocritical Properties .....	17
2.5.2	Presudoreduced Properties .....	17
2.6	PERSAMAAN JOULE-THOMPSON.....	19
BAB 3 METODE PENELITIAN.....		21
3.1	PERALATAN PENELITIAN .....	21
3.1.1	Swirl Nozzle .....	21
3.1.2	Pipa Akrilik .....	23
3.1.3	Pressure Meter .....	23
3.1.4	Termokople K .....	24
3.1.5	Komputer PC .....	25
3.1.6	Peraltan Pendukung .....	25
3.2	METODE PENGAMBILAN DATA .....	25
3.3	PRODEDUR PERCOBAAN .....	26
3.3.1	Persiapam Awal Peralatan Uji .....	26
3.3.2	Pengukuran Perbedaa Tekanan dan Temperatur pada h=0.....	27
3.3.3	Pengukuran Perbedaan Tekanan dan Temperatur pada h=1.....	28
BAB 4 HASIL DAN ANALISIS.....		29
4.1	DATA HASIL PERCOBAAN .....	28
4.2	DATA DAN ANALISIS PERBEDAAN SUDUT KEIRINGAN TABUNG GAAS TERHADAP PERBEDAAN TEKANAN.....	29

4.2.1	Hubungan $\Delta P$ dengan Kemiringan Sudut Tabung Pada <i>Fuel Flow Rate</i> 0 liter/s dan <i>Air Flow Rate</i> 0 liter/s .....	29
4.2.2	Hubungan $\Delta P$ dengan Kemiringan Sudut Tabung Pada <i>Fuel Flow Rate</i> 0.0157 liter/s dan <i>Air Flow Rate</i> 0.332 liter/s.....	30
4.2.3	Hubungan $\Delta P$ dengan Kemiringan Sudut Tabung Pada <i>Fuel Flow Rate</i> 0.018 liter/s dan <i>Air Flow Rate</i> 0.443 liter/s....	31
4.2.4	Hubungan $\Delta P$ dengan Kemiringan Sudut Tabung Pada <i>Fuel Flow Rate</i> 0.0216 liter/s dan <i>Air Flow Rate</i> 0.548 liter/s.....	32
4.2.5	Hubungan $\Delta P$ dengan Kemiringan Sudut Tabung Pada <i>Fuel Flow Rate</i> 0.0258 liter/s dan <i>Air Flow Rate</i> 0.59 liter/s....	34
BAB 5 KESIMPULAN.....		36
LAMPIRAN		
DAFTAR PUSTAKA		

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Properties Butana .....	7
Tabel 2.2 Properties Propana .....	8
Tabel 2.3 Nilai Konstanta C .....	14
Tabel 2.4 Kesimpulan Kondisi Vapour jika koefisien Joule-Thompson .....	32
Tabel 4.1 Data Hasil Percobaan Untuk Fuel Flow Rate 0 liter/s dan Air Flow Rate 0 liter/s. ....	42
Tabel 4.2 Data Hasil Percobaan Untuk Fuel Flow Rate 0.0157 L/s dan Air Flow Rate 0.332 L/s .....	43
Tabel 4.2 Data Hasil Percobaan Untuk Fuel Flow Rate 0.018 L/s dan Air Flow Rate 0.443 L/s .....	44
Tabel 4.2.4 Data Hasil Percobaan Untuk Fuel Flow Rate 0.0216 L/s dan Air Flow Rate 0.548 L/s .....	45
Tabel 4.2.4 Data Hasil Percobaan Untuk Fuel Flow Rate 0.0258 L/s dan Air Flow Rate 0.59 L/s .....	47

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran 2-fasa .....	13
Gambar 2.2 Pola Aliran 2-Fasa .....	15
Gambar 2.3 Diagram Untuk Menentukan Faktor Kompresibilitas .....	18
Gambar 2.4 Grafik Joule-Thompson Expansion .....	20
Gambar 3.1 Skematik Penelitian .....	21
Gambar 3.2 Dimensi Swirl Nozzle .....	22
Gambar 3.3 Dimensi Head Nozzle .....	22
Gambar 3.4 Bentuk aliran yang keluar dari swirl nozzle .....	23
Gambar 3.5 Dimensi Pipa Akrilik .....	23
Gambar 3.6 Posisi Pemasangan Termokopel Tipe K .....	25
Gambar 4.1 Skema Pengambilan Data .....	28

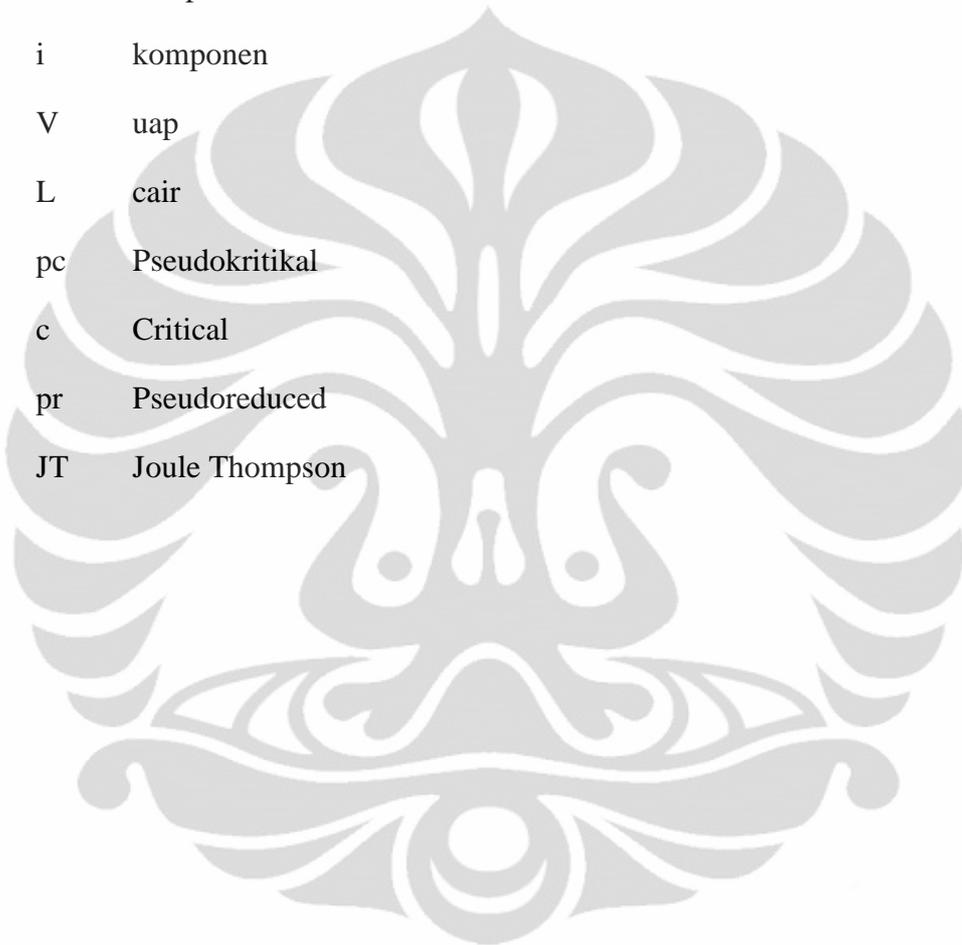
## DAFTAR LAMBANG

M	Massa Molar, $\text{gr mol}^{-1}$
$\rho$	Massa Jenis, $\text{kg m}^{-3}$
$C_p$	Kalor Spesifik, $\text{kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$
$\mu$	Viskositas Dinamik, Pa s
k	Faktor Kompresi Gas
R	Konstanta Gas Universal, $\text{kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$
m	Massa Komponen, gr
n	Molekul Gas, mol
$m_f$	Fraksi Mass
$X_i$	Fraksi Mol
$\alpha$	Fraksi Uap
A	Luas Permukaan, $\text{m}^2$
C	Kecepatan Aliran, $\text{m s}^{-1}$
x	Kualitas Gas
$\dot{m}$	Aliran Massa, $\text{kg s}^{-1}$
S	Slip Ratio
$\Delta P$	Perubahan Tekanan, bar
$\Phi$	Bilangan Koreksi
f	Friksi
$R_e$	Bilangan Reynold
D	Diameter, m
$\lambda$	Gradien Tekanan
Z	Faktor Kompresibilitas

T	Temperatur, $^{\circ}\text{C}$
$\alpha_v$	Koefisien Thermal Expansi Volume

### Subskrip

m	campuran
i	komponen
V	uap
L	cair
pc	Pseudokritikal
c	Critical
pr	Pseudoreduced
JT	Joule Thompson



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Dalam kehidupan sekarang ini LPG khususnya, menjadi bahan bakar alternatif pengganti minyak tanah untuk kebutuhan memasak/rumah tangga. Di dalam dunia otomotif LPG juga dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin otto. Penelitian mengenai LPG telah banyak dilakukan karena peranannya yang penting dalam masyarakat dan mengurangi resiko kecelakaan dalam penggunaan LPG yang sedang banyak terjadi belakangan ini. Dengan mengetahui pentingnya peranan tersebut maka penelitian LPG banyak dilakukan terkait dengan semakin panasnya isu global mengenai kenaikan harga minyak dunia yang disebabkan oleh semakin langkanya bahan bakar fosil di dunia ini. LPG yang beredar di masyarakat komposisi produk minimal mengandung campuran Propane (C3) & Butane (C4) sebesar 97% dan maximum 2% merupakan campuran Pentane (C5) dan hidrokarbon yang lebih berat. Komposisi campuran LPG Pertamina yang mengandung 30% Propane dan 70% Butane. Tekanan gas didalam tabung sebesar 8 bar, 8 bar bukan tekanan yang kecil jika sampai mengalami ledakan.

LPG (Liquefied Petroleum Gas) merupakan campuran dari propana dan butana, dengan menambah tekanan atau menurunkan temperaturnya membuatnya menjadi cair. Fasa cair dari LPG dapat dialirkan ke pipa akrilik melalui swirl nozzle jika posisi rotasi tabung diubah menjadi  $90^0$ . Cairan LPG dapat mengalir dari tabung dikarenakan adanya tekanan statik tabung. Selain pengaruh tekanan statik tabung fuel flow rate juga berpengaruh terhadap cairan yang keluar dari tabung. Ketika cairan telah melalui swirl nozzle, cairan tersebut mengalami proses penguapan. Proses penguapan ini menyebabkan kenaikan tekanan. Jika ini terus terjadi akan mengakibatkan regulator nge-lock secara otomatis. Jadi didalam pipa akrilik terdapat dua-fasa yang mengalir bersamaan, yaitu: cair dan uap. Kedua fasa ini mengalir dengan kecepatannya yang berbeda (separated flow). Pola

aliran dua fasa yang terjadi aliran strata gelombang (*stratified wavy*), dimana amplitude gelombang meningkat karena kenaikan kecepatan gas. Kecepatan uap lebih besar daripada kecepatan cairan.

## 1.2 PERUMUSAN MASALAH

Pada penelitian yang dilakukan, fenomena perubahan tekanan dilakukan dengan cara merubah posisi kedudukan tabung gas serta memasang swirl nozzle pada pipa aliran yg dilalui gas LPG. Perubahan posisi ini dilakukan untuk mengamati timbulnya kenaikan tekanan hal ini dilakukan dalam kondisi air fuel rate dan fuel flow rate tidak mengalir ( $Q=0$  L/s). Kondisi lain yang menjadi acuan yaitu melakukan variasi AFR, hal ini dilakukan untuk mengamati proses perubahan fasa gas LPG yang diakibatkan oleh swirl nozzle serta pengaruhnya terhadap kenaikan tekanan.

Hasil penelitian yang dituliskan disini, yang menjadi topik bahasan nya adalah fenomena perubahan tekanan dan temperatur pada pipa akrilik. Faktor-faktor yang mempengaruhi adalah posisi sudut tabung gas terhadap horizontal dan dimensi swirl nozzle, dan kondisi sistem harus dalam keadaan stabil dan tidak ada kebocoran saat proses pengambilan data dilakukan.

Aliran dalam pipa akrilik merupakan aliran dua fasa dengan kecepatan antar fasa dan cair tidak sama (*separted flow*).

## 1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari dan memahami pengaruh dari kedudukan tabung gas terhadap horizontal dan dampak yang perubahan tekanan yang ditimbulkan akibatnya dan untuk mempelajari pengaruh swirl nozzle pada perubahan tekanan yang dialami gas LPG karena perubahan fasa yang terjadi akibat spray swirl.

Hubungan yang ingin didapatkan adalah:

1. Hubungan antar variasi besar sudut rotasi kedudukan tabung gas terhadap kenaikan tekanan dan temperatur dalam kondisi tidak ada aliran gas LPG yang melalui rotarimeter.
2. Hubungan antar variasi besar sudut rotasi kedudukan tabung gas terhadap kenaikan tekanan dan temperature dengan variasi AFR.
3. Pengaruh swirl nozzle terhadap perubahan fasa yang mengakibatkan terjadinya kenaikan tekanan.

#### 1.4 BATASAN MASALAH

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang spesifik dan terarah serta demi tercapainya tujuan penelitian, mak penelitian dibatasi oleh hal-hal berikut ini:

1. Penelitian dilakukan dengan tes bed yang dirancang oleh tim peneliti dengan bantuan dari dosen pembimbing.
2. Alat ukur laju aliran udara dan bahan bakar adalah *Flame Propagation and Stability Unit P.A Hilton ltd C551*.
3. Alat ukur tekanan adalah Pressure meter.
4. Alat ukur temperature adalah temokopel tipe K
5. Bahan bakar yang akan diteliti adalah LPG, dengan campuran propan dan butan nya 30%:70%.
6. Mengamati perubahan tekanan dan temperature sebagai dampak dari aliran spray yang dihasilkan swirl nozzle.
7. Tidak meneliti proses yang terjadi didalam tabung gas LPG.
8. Diasumsikan pencampuran propan dan butan dalam LPG merata.
9. Tidak mengamati fenomena aliran dua-fasa
10. Pengambilan data dilakukan pada saat test bed tidak bocor.
11. Tidak mengamati fenomena vapour lock

## 1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Tahap perumusan masalah, yaitu mencari variable-variabel yang berpengaruh dalam percobaan, sekaligus referensi yang berkaitan.
2. Tahap kegiatan, yaitu merancang alat penelitian, melakukan pengujian alat, dan melakukan percobaan yang bertahap demi proses pembelajaran fenomena yang akan diamati.
3. Tahap penelitian dan pengambilan data, yaitu menyusun langkah-langkah percobaan, pengambilan data-data, dan melakukan pengolahan data.
4. Tahap penulisan skripsi, yaitu melakukan analisa terhadap data-data yang telah ada di berbagai literature dan selanjutnya menyajikannya dalam bentuk karya tulis skripsi.

## 1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Proses penulisan hasil penelitian mengenai *Pengaruh Besarnya Sudut Rotasi Posisi Putar Tabung LPG*, Penulis membagi penulisannya dalam lima bab yang masing-masing bab tersebut terdiri atas sub-sub bab. Penyajian skripsi dari hasil penelitian ini, akan dimulai dari latar belakang permasalahan sampai ke kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian yang dilakukan. Kerangka dari penulisan ini adalah sebagai berikut:

### BAB I PENDAHULUAN

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

## BAB 2 DASAR TEORI

Bab ini berisikan teori-teori sebagai landasan dan pendukung dalam melakukan kegiatan penelitian serta sebagai acuan dalam melakukan analisis data.

## BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang penjelasan alat-alat yang digunakan dalam penelitian dan juga kalibrasi alat yang diperlukan. Dan dijelaskan pula mengenai alangkah-langkah dan prosedur serta kondisi yang dilakukan dalam penelitian dan pengambilan data.

## BAB 4 HASIL DAN ANALISA

Bab ini berisikan data-data hasil penelitian, perhitungan data-data tersebut, grafik, serta analisa mengenai hasil yang diperoleh.

## BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian ayng telah dilakukan berdasarkan tujuan penelitian dan hasil yang didapat serta saran-saran untuk kemajuan penelitian berikutnya.

## BAB 2

### DASAR TEORI

#### 2.1 KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR LPG

*Liquefied Petroleum Gas* atau LPG merupakan campuran dari berbagai hidrokarbon yang dikenal sebagai butana, propana, isobutana tau campuran antar butane dengan propane, sebagai hasil sampingan minyak tanah, berbentuk gas. Dengan menambah tekanan atau menurunkan suhunya membuat menjadi cairan. Sifat-sifat umum LPG adalah sebagai berikut:

- Massa jenis LPG lebih besar dari massa jenis udara:
  - ❖ Massa jenis butane dua kali lebih besar dari massa jenis udara.
  - ❖ Massa jenis propane satu setengah kali lebih besar dari massa jenis udara.
- LPG tidak mempunyai sifat pelumas terhadap metal.
- LPG merupakan *solvent* yang baik terhadap karet sehingga kemasan atau tabung yang digunakan harus diperhatikan.
- LPG tidak memiliki warna, baik dalam bentuk cairan maupun dalam bentuk gas.
- LPG tidak memiliki bau. Umumnya LPG komersial ditambahkan zat yang berbau (*odor*) untuk alasan keselamatan. Zat berbau yang biasa digunakan adalah *Etil Mercaptane* , yang memiliki bau menyengat.
- LPG tidak mengandung racun.
- Bila menguap di udara bebas, gas LPG akan membentuk lapisan karena kondensasi terhadap aliran gas.

Selain digunakan pula sebagai bahan bakar, gas LPG digunakan pula sebagai bahan penekan. LPG banyak digunakan untuk hasil produksi yang berjenis *spray* seperti *deodorant*, minyak wangi *spray*, cat semprot, dan kosmetik yang digunakan dalam bentuk *spray*.

Zat berbau yang dicampurkan dengan LPG membantu agar kebocoran gas dapat diketahui. Bau yang dihasilkan sangat menusuk hidung sehingga kebocoran gas dapat ditanggulangi secepatnya. Dalam proses pembakaran, LPG tidak menghasilkan sisa pembakaran sehingga kebersihan lingkungan sekitar dapat terjamin.

## 2.2 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.

### 2.2.1 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:

Tabel 2.1 Properties Butana

Propeties Butana	
Molecular Formula	$C_4H_{10}$
Molar Mass	$58.12 \text{ g mol}^{-1}$
Appearance	Colorless gas
Density	$2.48 \text{ kg/m}^3$ , gas ( $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , 1 atm)
	$600 \text{ kg/m}^3$ , liquid ( $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , 1 atm)
Kalor Spesifik ( $C_p$ )	$1.7164 \text{ kJ/kg.K}$ , gas ( $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , 1 atm)
	$2.31 \text{ kJ/kg.K}$ , liquid ( $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , 1 atm)
$C_v$	$1.5734 \text{ kJ/kg.K}$

$\mu$	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 m <sup>3</sup> /kmol
Melting Point	-138.4 °C (135.4 K)
Boiling Point	-0.5 °C (272.6 K)
Temperature Critical	305.6 F (425.15 K)
Critical Pressure	550.8 psia (3.79 MPa)

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

### 2.2.2 Propana

Propana adalah alkane yang memiliki tiga atom karbon (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) 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<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O.

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 uapa pada tekanan atm dan berwarna putih karena mengembun. Propana memiliki karakteristik sebagai berikut:

Tabel 2.2 Properties Propana

Properties Propana	
Molecular Formula	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>

Molar Mass	44.1 g mol <sup>-1</sup>
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
$\mu$	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
Temperature Critical	206.2 F (369.83 K)
Critical Pressure	617.4 psia (4.25 MPa)

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

### 2.3 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. Juka 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:

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

Densitas massa campuran diberikan oleh persamaan:

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

Fraksi massa

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

Fraksi mol

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

Kalor Spesifik dari campuran diberikan oleh persamaan:

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

### 2.3.1 Pencampuran Homogen

Model Homogen merupakan model sederhana yang mengambil 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 ( $\alpha$ ) didefinisikan sebagai rasio daerah *cross-sectional* yang ditempati oleh gas LPG dengan daerah *cross-sectional* pada saluran LPG sehingga:

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

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).

$$\alpha = \frac{Q_V}{Q} \quad (2.8)$$

Vapour Fraction  $\alpha$  :

$$\alpha = \frac{1}{1 + \left( \frac{C_V(1-x)\rho_V}{C_L x \rho_L} \right)} \quad (2.9)$$

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

$$\alpha_h = \frac{1}{1 + \left( \frac{(1-x)\rho_V}{x\rho_L} \right)} \quad (2.10)$$

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

$$x = \frac{\dot{m}_V}{\dot{m}} \rightarrow \dot{m} = \dot{m}_V + \dot{m}_L \quad (2.11)$$

$$\dot{m}_V = \rho_V \cdot \mu_V \cdot \alpha \cdot A \quad (2.12)$$

$$\dot{m}_L = \rho_L \cdot \mu_L \cdot (1 - \alpha) \cdot A \quad (2.13)$$

Maka densitas homogen campuran dapat dicari dari:

$$\rho = \alpha \cdot \rho_V + (1 - \alpha) \cdot \rho_L \quad (2.14)$$

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

$$\frac{1}{\rho_h} = \frac{x}{\rho_V} + \frac{1-x}{\rho_L} \quad (2.15)$$

Untuk menentukan besarnya Koefisien Gesek Dinamik Antar Fasa ( $\mu$ ) digunakan persamaan dibawah ini: (The Gas Viscosity Correlation of Carr, Kobayashi and Burrows, 1954))

$$\mu_V = \frac{\sum(\mu_{Vi} x_i \sqrt{M_i})}{\sum(x_i \sqrt{M_i})} \quad (2.16)$$

## 2.4 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.

### 2.4.1 Model Aliran dua Fasa

Model aliran dua fasa secara umum diklasifikasikan sebagai berikut ini:

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

### 2.4.2 Model Aliran Terpisah

Dalam percobaan, jenis aliran yang terjadi adalah aliran terpisah (*separated flow*).

Hal ini diperjelas dengan nilai slip ratio dari kedua fasa tidak sama dengan nol

( $S = \frac{C_V}{C_L} \neq 0$ ). Dapat dilihat dari hasil perhitungan berikut ini.

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

$$S = \frac{C_V}{C_L} = \frac{594.36 (0.0005627)(1 - 0.1249)}{2.36 (1 - 0.0005627) 0.1249}$$

$$S = \frac{C_V}{C_L} = \frac{0.292}{0.294} ;$$

Jadi semua persamaan yang digunakan adalah persamaan untuk jenis 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 2.1 Aliran 2-fasa

Mempergunakan model aliran terpisah dengan asumsi bahwa kecepatan aliran konstan tetapi tidak selalu sama untuk untuk fasa vapour dan cair, tercapainya kesetimbangan termodinamika antar fasa dan penggunaan korelasi empiris atau konsep sederhana untuk menghubungkan pengali dua fasa dan fraksi vapour dengan variable bebas aliran tersebut (Collier, 1980).

Fraksi vapour ini dapat dinyatakan dengan  $\alpha$  dan dapat dinyatakan berkenaan dengan dirinya sendiri atau berkenaan dengan rasio kecepatan  $S$ . Pada model aliran terpisah  $C_V \neq C_L$  maka rasio kecepatan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$S = \frac{C_V}{C_L} = \frac{\frac{Q_V}{A\alpha}}{\frac{Q_L}{A(1-\alpha)}} = \frac{Q_V(1-\alpha)}{Q\alpha} = \frac{\rho_L x (1-\alpha)}{\rho_V (1-x) \alpha} \quad (2.17)$$

Atau

$$S = \frac{\rho_L x (1-\alpha)}{\rho_V (1-x) \alpha} \quad (2.18)$$

Penurunan tekanan dalam aliran dua fasa merupakan penurunan tiap fasa yang ditentukan secara empiris. Lockhart-Martinelli *correlation* dan Friedel *correlation* menentukan besarnya gradient tekanan antar ke dua fasa dengan menggunakan persamaan:

$$\Delta P_{friction} = \phi_L^2 \Delta P_L \quad (2.19)$$

$$\Delta P_{friction} = \phi_V^2 \Delta P_V \quad (2.20)$$

$$\Delta P_L = \frac{4f L \dot{m}^2 (1-x)^2}{D^2 \rho_L} \quad (\text{Friedel Correlation}) \quad (2.21)$$

$$\Delta P_V = \frac{4f L \dot{m}^2 x^2}{D^2 \rho_V} \quad (\text{Lockhart-Martinelli correlation}) \quad (2.22)$$

$$Re_L = \left( \frac{\rho D C}{\mu} \right)_L = \left( \frac{\dot{m} D}{\mu} \right)_L = \frac{(1-x) \dot{m} D}{\mu_L} \quad (\text{Friedel Correlation}) \quad (2.23)$$

$$f_L = \frac{0.079}{Re_L^{0.25}} = 0.079 \left[ \frac{\mu_L}{(1-x) \dot{m} D} \right]^{0.25} \quad (2.24)$$

Bilangan koreksi untuk aliran non homogen ( $\phi_V$ ) dan pecahan *vapour* ( $\alpha$ ) dikorelasikan terhadap ratio ( $\lambda^2$ ):

$$\phi_L^2 = \frac{P}{P_L}, \phi_V^2 = \frac{P}{P_V}, \lambda^2 = \frac{P_L}{P_V} \quad (2.25)$$

$$\phi_L^2 = 1 + \frac{C}{X} + \frac{1}{X^2} \quad (2.26)$$

$$\phi_V^2 = 1 + CX + X^2 \quad (2.27)$$

Nilai C dapat ditentukan dengan kondisi aliran dua fasa yang terjadi, nilai dapat di ambil dari table di bawah ini:

Tabel 2.3 Nilai Konstanta C

Value Of C		
Liquid	Vapour	C
Turbulent	Turbulent	20
Laminar	Turbulent	12
Turbulent	Laminar	10
Laminar	Laminar	5

$$X = \left( \frac{1-x}{x} \right)^{0.9} \left( \frac{\rho_V}{\rho_L} \right)^{0.5} \left( \frac{\mu_L}{\mu_V} \right)^{0.1} \quad (2.28)$$

Besar Koefisien Gradient Tekanan:

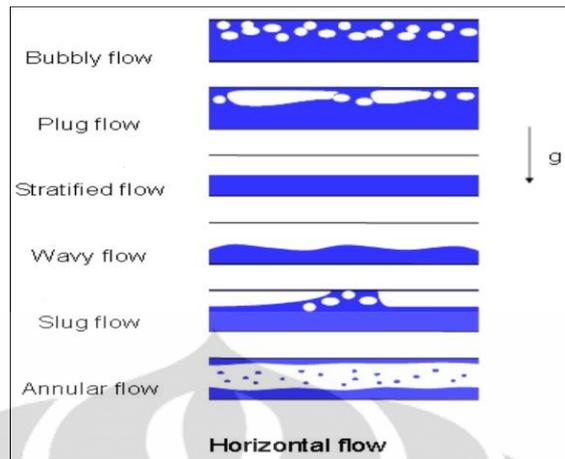
$$\lambda^2 = \frac{P_L}{P_V} = \left(\frac{1-x}{x}\right)^{1.75} \cdot \frac{\rho_V}{\rho_L} \left(\frac{\mu_L}{\mu_V}\right)^{0.25} \quad (2.29)$$

### 2.4.3 Pola Aliran Dua Fasa

Pola aliran pada gelembung pipa horizontal, efek kekuatan gravitasi ada untuk menggantikan cairan yang lebih berat mendekati pipa bagian bawah, bentuk lain dari pola aliran dapat bertambah karena efek ini dimana aliran tersebut dibagi menjadi dua lapisan:

1. Aliran gelembung (bubble), dimana gelembung gas cenderung untuk mengalir pada bagian atas tube.
2. Aliran kantung gas (plug) dimana gelembung gas kecil bergabung membentuk kantung gas
3. Aliran strata licin (stratified), dimana permukaan bidang sentuh likuid gas sangat halus. Tetapi pola aliran seperti ini biasanya tidak terjadi, batas fase hampir selalu bergelombang.
4. Aliran strata gelombang (stratified wavy), dimana amplitudo gelombang meningkat karena kenaikan kecepatan gas
5. Aliran sumbat likuid (slug), dimana amplitudo gelombang sangat besar hingga menyentuh bagian atas tube
6. Aliran cincin (annular), sama dengan pada tube vertikal hanya likuid film lebih tebal di dasar tube daripada dibagian atas.

Dari enam (6) pola aliran dua fasa yang ada, yang terjadi selama proses penelitian adalah *wavy flow*.



Gambar 2.2 Pola Aliran 2-Fasa (Sumber: Slide Fukui University)

## 2.5 FAKTOR KOMPRESIBILITAS

Faktor gas kompresibilitas umumnya disebut sebagai factor deviasi atau factor  $z$ . Nilai daripada factor  $z$  merefleksikan berapa banyak gas riil yang terdeviasi dari gas ideal pada tekanan dan temperature yang ditentukan. Fungsi lain daripada faktor kompresibilitas  $Z$  adalah untuk memodifikasi hukum gas ideal agar dapat untuk menghitung sifat-sifat dari gas riil. Untuk gas ideal faktor kompresibilitas  $Z$  mempunyai nilai 1 dan untuk gas riil nilai faktor kompresibilitas  $Z$  dapat berdeviasi menjadi positif maupun negatif yang bergantung dari gaya intermolekuler dari gas tersebut. Definisi dari factor kompresibilitas adalah:

$$Z = \frac{V_{aktual}}{V_{ideal}} \quad (2.30)$$

Faktor  $Z$  dapat diekspresikan didalam gas ideal untuk gas riil ( $Z=1$ ):

$$PV_n = RT \quad (2.31)$$

Dan koreksi dari gas ideal untuk ketidak idealan didefenisikan sebagai berikut:

$$PV_m = ZRT \quad (2.32)$$

Sehingga:

$$Z = \frac{PV_m}{RT} \quad (2.33)$$

Dimana

P = tekanan

V<sub>m</sub> = Volume molar gas

R = Konstanta universal gas

T = Temperatur

Persamaan diatas merupakan persamaan paling sederhana dan umum digunakan untuk gas riil equation of state (EOS). Keterbatasan dari persamaan ini adalah bahwa faktor kompresibilitas Z tidak konstan tetapi bervariasi dari satu jenis gas ke jenis lainnya dengan temperature dan tekanan tertentu. Ada tiga bagian yang mempengaruhi faktor kompresibilitas,

1. Nilai faktor kompresibilitas mendekati 1 dan tekanan gas mendekati 0 maka sifat gas tersebut mendekati sifat gas ideal.
2. Nilai faktor kompresibilitas kurang dari 1 ditekanan tingkat menengah, hal ini dikarenakan gaya tarik intermolekuler yang menyebabkan volume actual lebih kecil dari nilai idealnya.
3. Nilai faktor kompresibilitas Z lebih dari 1 dan dengan tekanan yang sangat tinggi, hal ini dikarenakan gaya dorong intermolekuler menyebabkan volume actual lebih besar dari volume idealnya.

### 2.5.1 Pseudocritical Properties

Sifat-sifat kritikal dari gas dapat ditentukan dari sifat-sifat kritikal dari masing-masing gas penyusun dari gas mixture, cara ini disebut dengan pseudocritical properties. Tekanan gas pseudocritical dan temperature pseudocritical dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$P_{pc} = \sum_{i=1}^k x_i P_{ci} \quad (2.34)$$

$$T_{pc} = \sum_{i=1}^k x_i T_{ci} \quad (2.35)$$

Dimana  $P_{ci}$  dan  $T_{ci}$  adalah tekanan kritikal dan temperature kritikal dari masing-masing komponen.

### 2.5.2 Pseudoreduced Properties

Untuk gas campuran, tekanan dan temperature reduce disebut dengan tekanan dan temperature pseudoreduce yang harus dibedakan dari komponen penyusun gas campuran tersebut, dan dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_{pr} = \frac{P}{P_c} \quad (2.36)$$

$$T_{pr} = \frac{T}{T_c} \quad (2.37)$$

Dimana  $P_{pr}$  dan  $T_{pr}$  adalah tekanan dan temperature reduce dari gas campuran tersebut. Temperatur yang digunakan harus absolut yang dinotasikan dengan  $^{\circ}\text{C}+273$ .

### Aturan Kay

Untuk menggeneralisasikan faktor kompresibilitas  $Z$  dari grafik untuk gas campur, maka harus menetapkan sifat-sifat kritikal dari masing-masing gas penyusunnya. Hal ini bisa dilihat dari persamaan W. B. Kay (1936).

$$T_{pc} = y_1 T_{c1} + y_2 T_{c2} + y_3 T_{c3} \dots$$

$$P_{pc} = y_1 P_{c1} + y_2 P_{c2} + y_3 P_{c3} \dots$$

Dimana

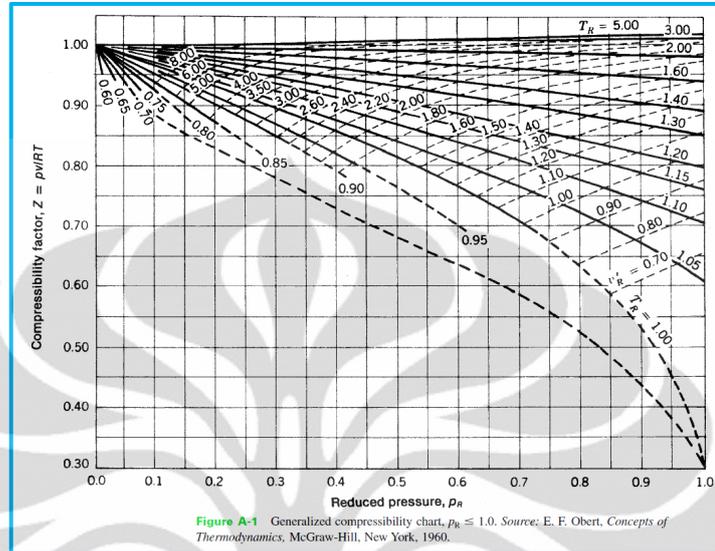
$T_{pc}$  = Temperatur pseudokritikal gas campur

$P_{pc}$  = Tekanan pseudokritikal gas campur

$T_{c1}, T_{c2}, T_{c3}$  = Temperatur kritikal komponen gas campur

$P_{c1}, P_{c2}, P_{c3} =$  Tekanan kritis komponen gas campuran

$y_1, y_2, y_3 =$  Fraksi mol dari gas campuran.



Gambar 2.3 Diagram Untuk Menentukan Faktor Kompresibilitas (Sumber: Concepts of Thermodynamics, McGraw-Hill, New York, 1960)

Dengan didapatnya tekanan dan temperature kritis dari gas campuran maka nilai faktor kompresibilitas  $Z$  dapat ditetapkan dari grafik dengan menggunakan persamaan pseudoreduced.

## 2.6 PERSAMAAN JOULE-THOMPSON

Persamaan Joule-Thompson digunakan untuk menganalisa proses terjadinya ekspansi vapour sepanjang aliran didalam pipa akrilik.

$$dH = mC_p dp + C_p dT \quad (2.38)$$

$$\mu_{JT} = \left( \frac{\partial T}{\partial P} \right)_h = \frac{V}{C_p} (\alpha_V T - 1) \quad (2.39)$$

Dengan:

$\mu_{JT}$  = Koefisien Joule-Thompson

$V$  = vapour volume

$$\alpha_V = \text{coefficient of thermal expansion volume} \left( \alpha_V = \sum_{i=1}^k \frac{x_i \mu_i}{\sum_{i=1}^k x_i \phi_{ij}} \right) \quad (2.36)$$

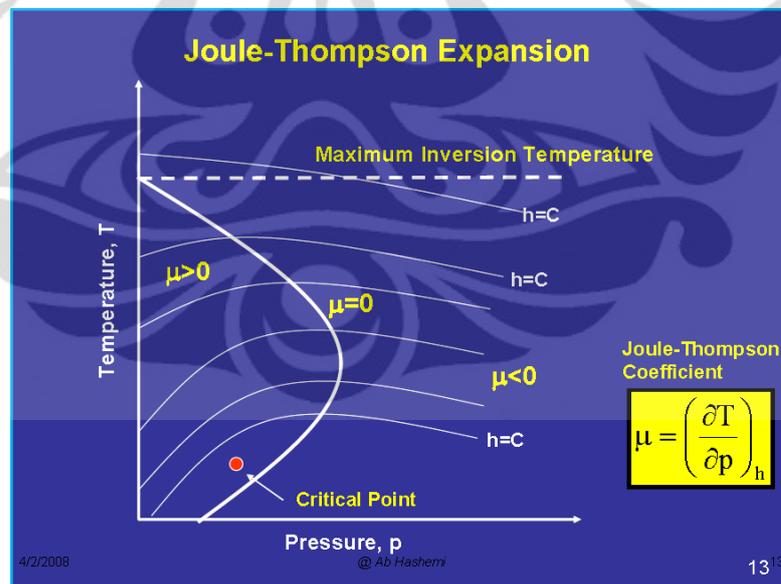
$$\phi_{ij} = \text{koefisien pengali} \left( \phi_{ij} = \frac{1}{\sqrt{8}} \left( 1 + \frac{\mu_i}{\mu_j} \right)^{-\frac{1}{2}} \left[ 1 + \left( \frac{\mu_i}{\mu_j} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{\mu_i}{\mu_j} \right)^{\frac{1}{4}} \right]^2 \right) \quad (2.37)$$

Berikut kesimpulan yang dapat diambil setelah koefisien Joule-Thompson diketahui.

Tabel 2.4 Kesimpulan Kondisi *Vapour* jika koefisien Joule-Thompson

Ketika $\mu$ JT is	Jika $\partial P$	Demikian $\partial T$	Jadi Uap
Positif	Selalu Negatif	Negatif	Dingin
Negatif	Selalu Negatif	Positif	Panas

Berikut di bawah ini merupakan grafik hubungan temperatur dengan tekanan, serta daerah untuk nilai koefisien Joule-Thompson yang berbeda.



Gambar 2.4 Grafik Joule-Thompson Expansion (Sumber: Slide Ab Hasmhemi)

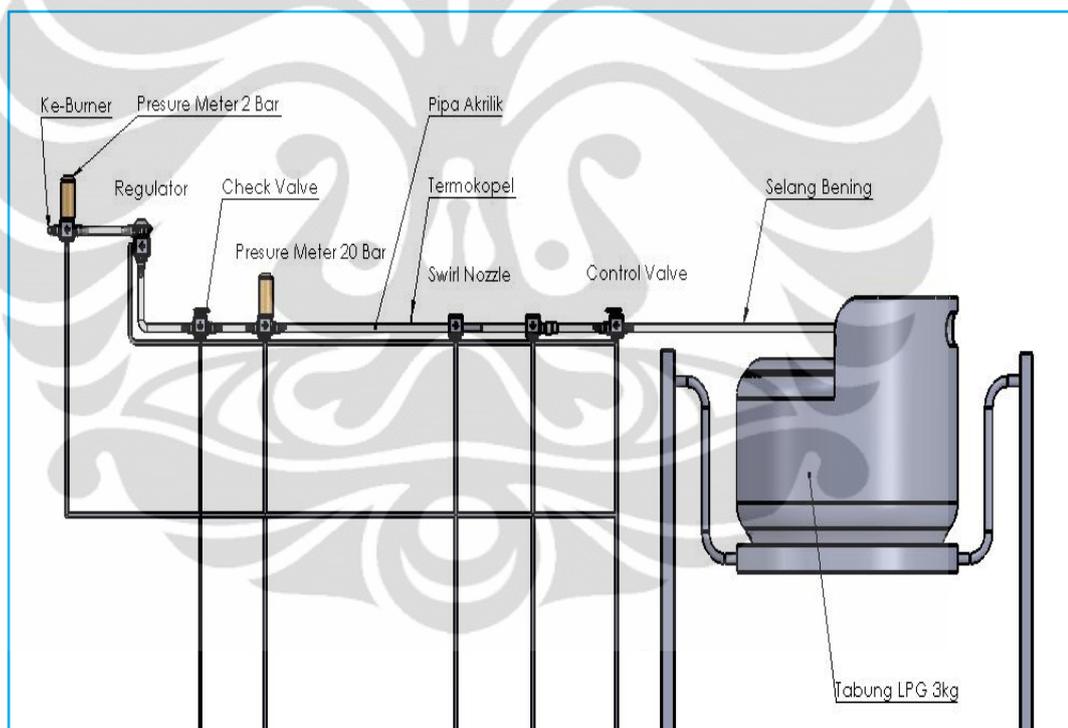
## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 PERALATAN PENELITIAN

Tabung LPG sebagai sumber yang mengalirkan *vapour-liquid* melalui selang transparan menuju *swirl nozzle* hingga sampai ke dalam pipa akrilik. Didalam pipa akrilik fenomena yang terjadi di amati dan dilakukan proses pengambilan data yang nantinya akan di olah dan dibahas pada bab data dan analisa.

Peralatan penelitian yang digunakan untuk penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut:



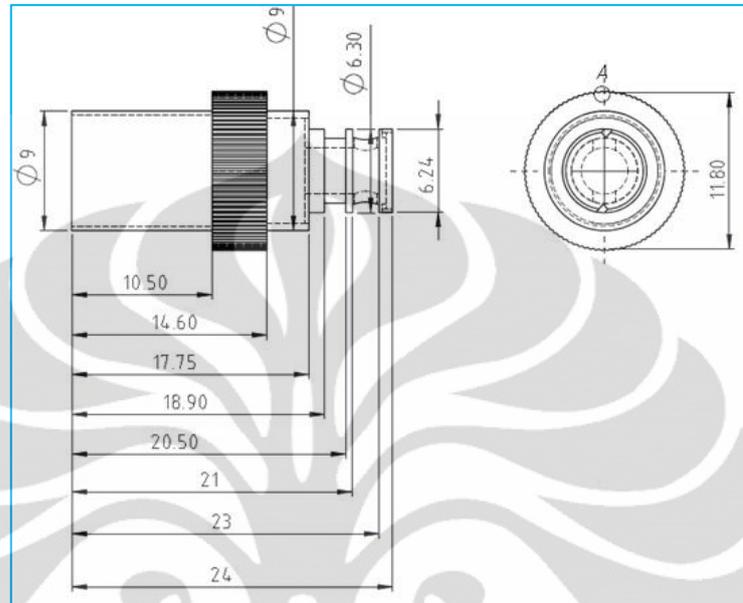
Gambar 3.1 Skematik Penelitian

##### 3.1.1 Swirl Nozzle

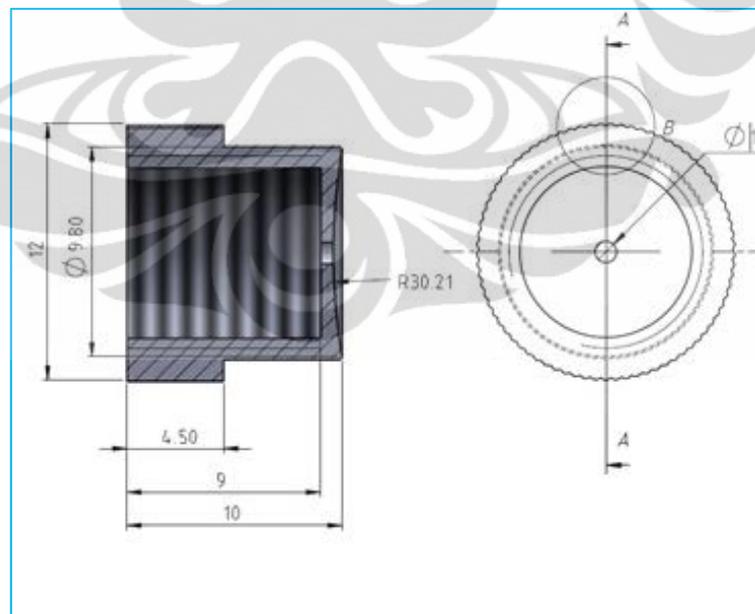
Jika posisi tabung gas LPG diputar sampai pada posisi tergingling, atau  $\phi=0^{\circ}$  sampai  $90^{\circ}$  terhadap horizontal maka LPG dalam fasa *liquid* akan mengalir melalui swirl nozzle. Efek dari swirl nozzle yaitu terjadi proses penguapan dari cair menjadi uap. Dari data pengukuran akan diketahui korelasi kenaikan tekanan

penguapan gas vs sudut posisi tabung gas LPG ( $\Delta p$  vs  $\phi$ ) pada variasi flow rate massa gas LPG dalam phase uap dan cair.

Berikut dibawah ini dimensi dari swirl nozzle dan kepala swirl nozzle.



Gambar 3.2 Dimensi Swirl Nozzle



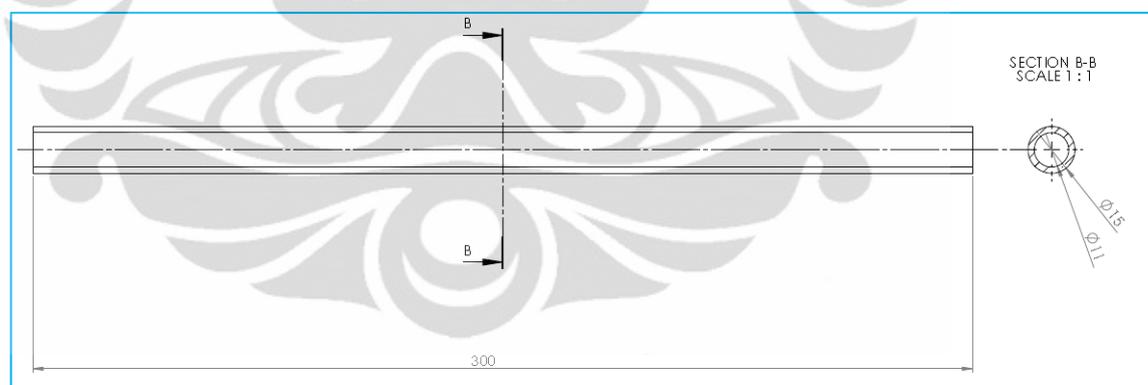
Gambar 3.3 Dimensi Head Nozzle



Gambar 3.4 Bentuk aliran yang keluar dari swirl nozzle

### 3.1.2 Pipa akrilik

Fenomena aliran swirl dapat diamati dengan jelas menggunakan pipa akrilik, selain itu pipa akrilik dengan dimensi seperti gambar dibawah tahan terhadap tekanan hingga 8bar serta *friction* pada dinding nya bisa diabaikan. Sehingga mempermudah dalam pengolahan data.



Gambar 3.5 Dimensi Pipa Akrilik

### 3.1.3 Pressure meter

Alat yang digunakan untuk mengukur besarnya tekanan adalah pressure meter. Dalam percobaan presure meter di set skala 20 bar dan 2 bar setelah regulator. Presure meter 1 dihubungkan dengan pressure transduser 20 bar dan pressure

meter 2 dihubungkan dengan pressure transduser 2 bar. Dibawah ini disebutkan spesifikasi dari pressure transduser yang digunakan.



Brand : Lutron
Model : PRESSURE METER, full line
Model No. : PS-9302
Meter connects with 2, 5, 10, 20, 50, 100, 400 bar sensor, no calibration procedures are necessary when change a new sensor.
Bar, PSI, Kg/cm <sup>2</sup> , inch/Hg, mm/Hg, inch/H <sub>2</sub> O, meter/H <sub>2</sub> O, Atmosphere.
Data hold, Memory (Max., Min.), RS232.
Size : 180 x 72 x 32 mm.

### 3.1.4 Termokopel K

Untuk mengukur suhu sepanjang aliran di pipa akrilik digunakan termokopel tipe K (Chromel (Ni-Cr alloy)). Termokopel untuk tujuan umum. Lebih murah. Tersedia untuk rentang suhu  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  hingga  $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . termokopel ini dipasang 6 cm dari swirl nozzle dikarenakan pada posisi ini aliran sudah laminar jadi

temperature yang diukur tidak terpengaruh oleh aliran. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat gambar dibawah ini.



Gambar 3.6 Posisi Pemasangan Termokopel Tipe K

### 3.1.5 Komputer PC

Komputer digunakan untuk menyimpan data hasil pengukuran masing-masing alat ukur yang digunakan.

### 3.1.6 Peralatan Pendukung

- ❖ Pemantik api
- ❖ Mistar baja untuk mengukur ketinggian cairan dalam pipa akrilik
- ❖ Kamera digital untuk pengambilan gambar ketika aliran keluar dari swirl nozzle

## 3.2 METODE PENGAMBILAN DATA

Penelitian dilakukan dalam kondisi *test bed* tidak mengalami kebocoran dan nyala *premixed* pada burner. Dalam pengambilan data, yang menjadi parameter yang dicari adalah perbedaan tekanan, temperatur aliran dan tinggi cairan di dalam

pipa. Untuk variable tetap dari penelitian ini adalah posisi sudut kemiringan tabung gas, variasi *air flow ratio* dan *fuel flow ratio* dan lama pengambilan data tiap 10 menit.

Dalam penelitian perbedaan tekanan didapat dari pengurangan nilai antara bacaan pada pressure meter 20 bar dengan bacaan pressure meter 2 bar. Temperatur aliran diukur dengan cara memasukkan termokopel kedalam pipa akrilik, besaran yang digunakan adalah  $^{\circ}\text{C}$ . Tinggi cairan dalam pipa diukur menggunakan mistar baja besaran yang digunakan dalam satuan mm.

Pada penelitian ini nilai *fuel flow ratio* nya mulai dari  $h=0$ ,  $h=1$ ,  $h=2$ ,  $h=3$ ,  $h=4$ . Posisi sudut kemiringan tabung gas  $0^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$  terhadap posisi horizontal. Aliran udara diset sesuai dengan nilai  $h$  masing, tujuannya supaya nyala premixed tercapai.

Data-data hasil penelitian kemudian dimasukkan kedalam table dengan format sebagai berikut:

h=i				
Sudut	P 20 bar	P 2 bar	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	Ketinggian Liquid
0				
30				
60				
90				

### 3.3 PROSEDUR PERCOBAAN

#### 3.3.1 Persiapan Awal Peralatan Uji

1. Mempersiapkan peralatan yang akan diperlukan dalam melakukan pengujian (membuat suatu sistem test bed) yang terdiri dari tabung LPG 3kg, regulator, selang gas transparan, swirl nozzle, pipa akrilik, pressure transducer, katub pengaman, rotameter, burner.
2. Memastikan test bed dalam keadaan tidak bocor.

3. Mengatur posisi tabung gas pada posisi  $0^0$  terhadap horizontal.
4. Memasang transduser ke alat ukur kemudian menyambungkannya ke komputer.
5. Mengatur rotameter pada posisi nol.

### 3.3.2 Pengukuran Perbedaan Tekanan dan Temperatur pada $h=0$

1. Regulator dipasangkan pada tabung LPG.
2. Posisi sudut tabung diset  $0^0$ .
3. *Fuel flow rate* pada rotameter diset nol sehingga tidak ada gas yang mengalir ke burner (sistem dalam keadaan tertutup).
4. Kemudian merubah posisi tabung setiap 10 menit ( $0^0$ - $90^0$ ) dan mencatat data hasil pengukuran.

### 3.3.3 Pengukuran Perbedaan Tekanan dan Temperatur pada $h=1$

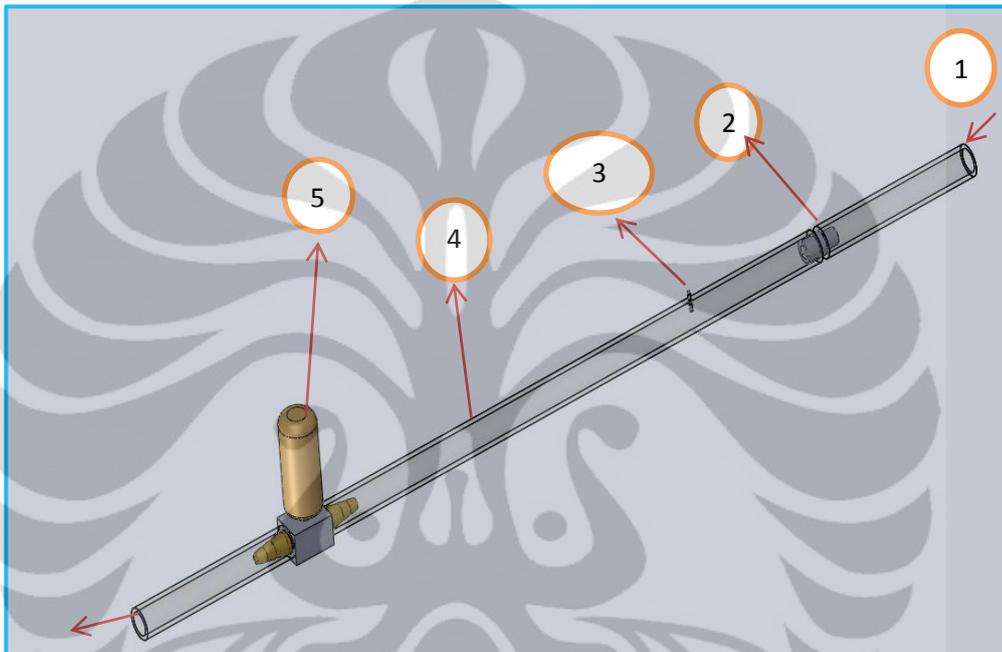
1. Regulator dipasang pada tabung LPG.
2. Posisi tabung gas di set  $0^0$
3. Membuka *air flow rate* sedikit kemudian menyalakan api dengan pemantik.
4. *Fuel flow rate* pada rotameter diset ( $h=1$ ) sehingga gas mengalir dari tabung gas.
5. Mengatur *air flow rate* secara perlahan sampai terbentuk nyala premixed.
6. Kemudian merubah posisi tabung setiap 10 menit ( $0^0$ - $90^0$ ) dan mencatat data hasil pengukuran.
7. Diulangi langkah 1 sampai 6 untuk *fuel flow rate* yang berbeda. (2,3,4).

## BAB 4

### HASIL DAN ANALISIS

#### 4.1 DATA HASIL PERCOBAAN

Pada proses percobaan ini menggunakan setup alat seperti gambar dibawah ini:



Gambar 4.1 Skema Pengambilan Data

Keterangan:

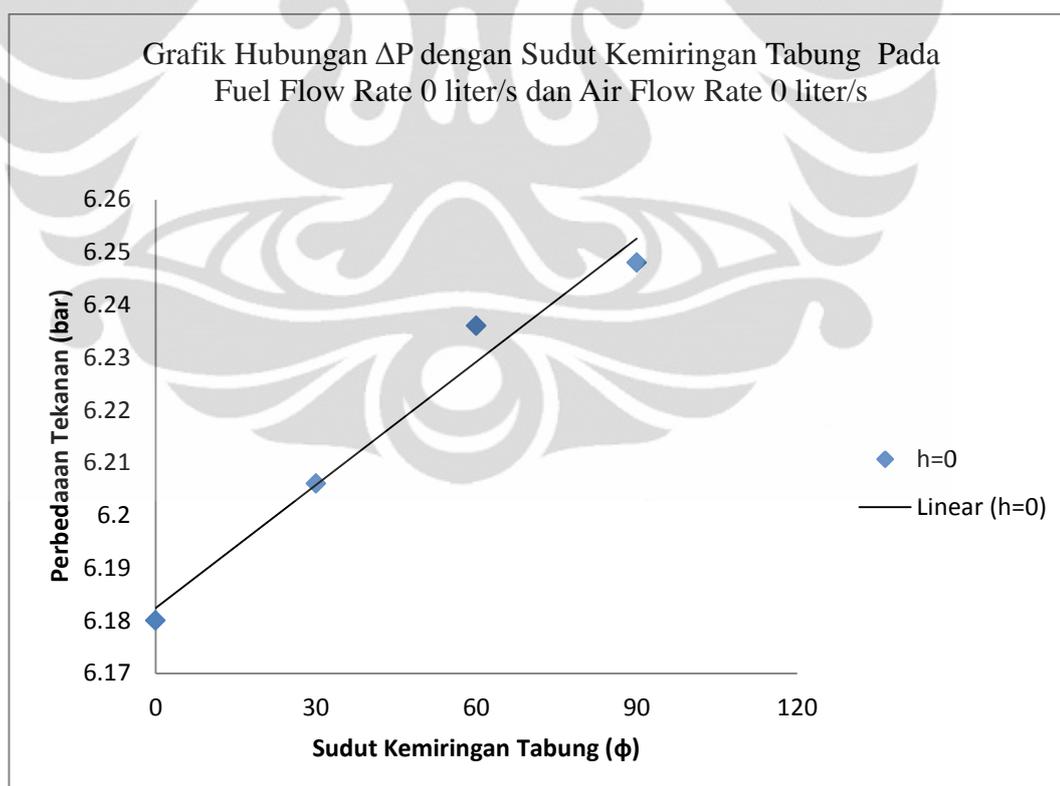
1. LPG masuk ke Pipa dari tabung ( $m=7.59$  Kg;  $P= 6.18$  bar)
2. Swirl Nozzle
3. *Thermocouple* Tipe K
4. Pipa Akrilik ( $d_o=15$ mm;  $d_i=11$ mm)
5. Pressure Transduser (Ukuran Tekanannya 20 Bar)

## 4.2 DATA DAN ANALISIS PERBEDAAN SUDUT KEMIRINGAN TABUNG GAS TERHADAP PERBEDAAN TEKANAN

### 4.2.1 Hubungan $\Delta P$ dengan Kemiringan Sudut Tabung Pada *Fuel Flow Rate* 0 liter/s dan *Air Flow Rate* 0 liter/s.

Tabel 4.1 Data Hasil Percobaan Untuk *Fuel Flow Rate* 0 liter/s dan *Air Flow Rate* 0 liter/s.

Sudut( $^{\circ}$ )	T1 ( $^{\circ}$ C)	P (20 bar)	P (2 bar)	$\Delta P$ (bar)
0	28.31	6.218	0.038	6.18
30	28.89	6.244	0.038	6.206
60	29.11	6.274	0.038	6.236
90	29.13	6.286	0.038	6.248



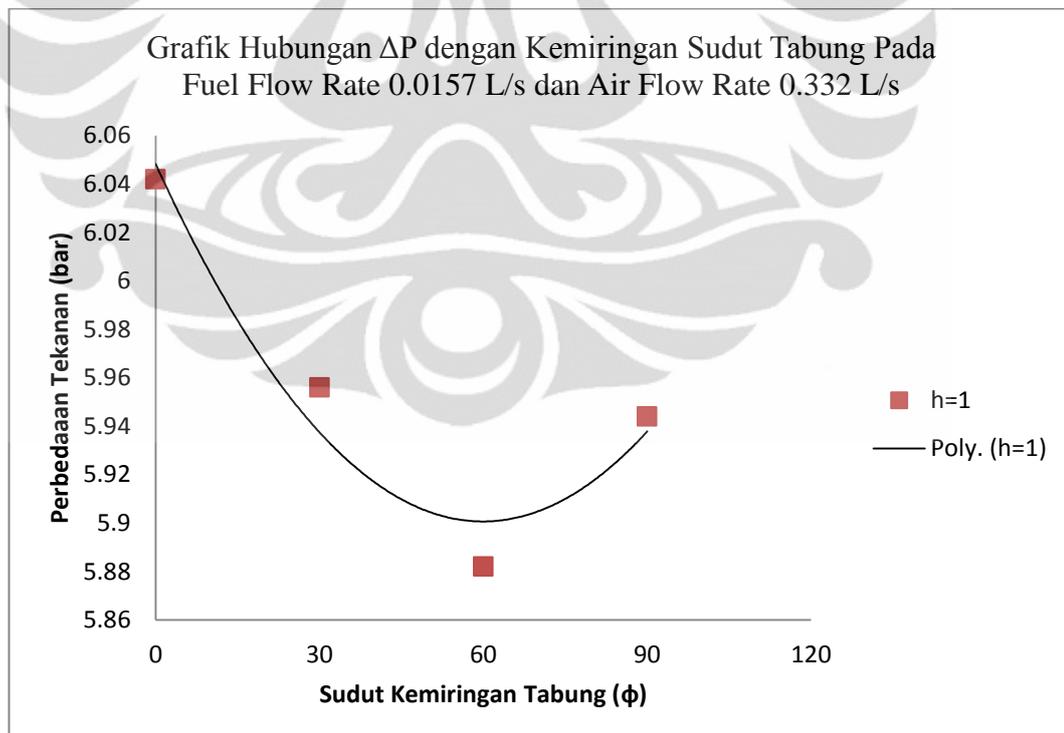
Dari hasil penelitian diperoleh data yang menunjukkan bahwa sudut kemiringan tabung gas memberikan pengaruh terhadap kenaikan tekanan. Dapat dilihat dari

grafik bahwa keduanya berpengaruh secara linear. Dalam kondisi *Fuel Flow Rate* 0 liter/s dan *Air Flow Rate* 0 liter/s tidak ada cairan yang keluar dari melalui swirl nozzle. Kenaikan tekanan dipengaruhi oleh gas yang mengalami kompresi pada volum tetap. Besarnya faktor kompresibilitas pada temperature 301.46 K dan tekanan 6.218 bar adalah  $Z=0.8522$

#### 4.2.2 Hubungan $\Delta P$ dengan Kemiringan Sudut Tabung Pada Fuel Flow Rate 0.0157 L/s dan Air Flow Rate 0.332 L/s.

Tabel 4.2 Data Hasil Percobaan Untuk Fuel Flow Rate 0.0157 L/s dan Air Flow Rate 0.332 L/s

Sudut( $^{\circ}$ )	T1 ( $^{\circ}$ C)	P (20 bar)	P (2 bar)	$\Delta P$ (bar)
0	27.29	6.074	0.032	6.042
30	27.78	5.988	0.032	5.956
60	28.41	5.914	0.032	<b>5.882</b>
90	27.76	5.976	0.032	<b>5.944</b>



Dari grafik dapat diamati terjadinya penurunan tekanan dari 0-60° hal ini disebabkan oleh terjadinya penurunan tekanan yaitu sebesar  $(\Delta P_{friction})_g = 0.016$  bar.

Dari grafik dapat dilihat pada posisi sudut 60° ke 90° terjadi kenaikan tekanan, hal ini disebabkan oleh LPG (dalam fasa liquid) yang keluar dari swirl nozzle dan pengaruh dari tekanan statik tabung LPG, sebesar  $\Delta P_{static} = P_{90} - P_{60} = 5.944 - 5.892 = 0.052$  bar dan cairan yang keluar dari swirl nozzle mengalami penguapan akibat putaran swirl yang dialami cairan sebesar  $\mu_{jt} = 4.5289$  setelah itu vapour mengalami kompresi dalam volume tetap sehingga tekanan didalam pipa akrilik bertambah. Besarnya faktor kompresibilitas gas pada temperatur 300.91 K dan tekanan 5.976 bar adalah  $Z = 0.858$ .

Volume liquid yang mengalir dari dalam tabung LPG pada posisi sudut tabung 60°- 90°. liquid mengalir didalam pipa selama 10 menit sebesar 0.02246 liter atau 87.58 % dari volume total pipa.

#### 4.2.3 Hubungan $\Delta P$ dengan Kemiringan Sudut Tabung Pada Fuel Flow Rate 0.018 L/s dan Air Flow Rate 0.443 L/s

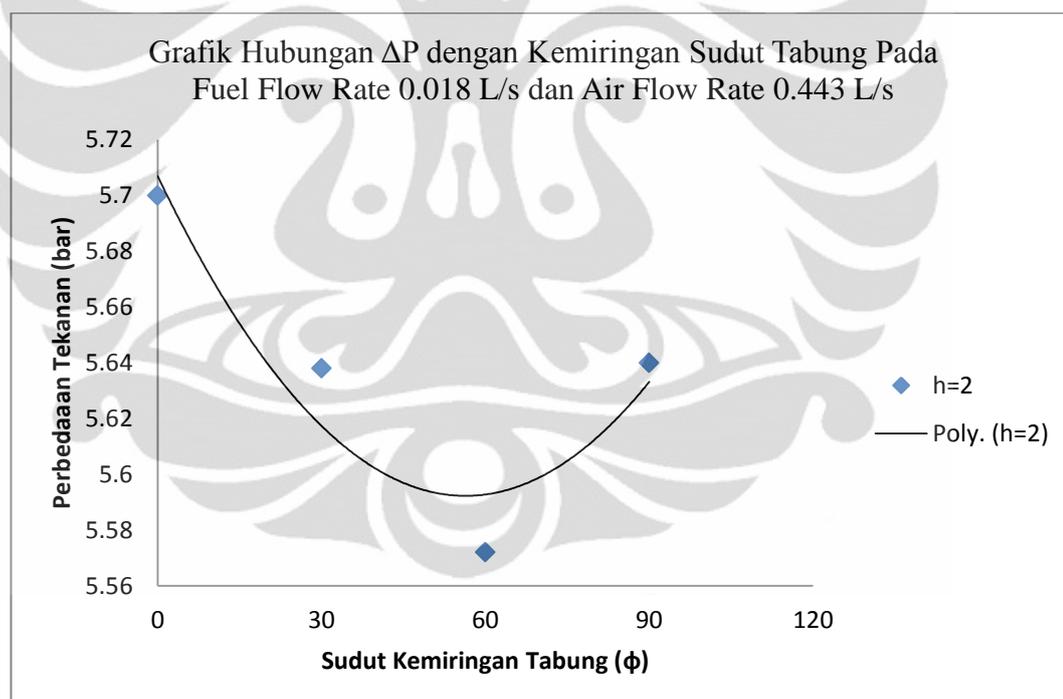
Tabel 4.2 Data Hasil Percobaan Untuk Fuel Flow Rate 0.018 L/s dan Air Flow Rate 0.443 L/s

Sudut(°)	T1 (°C)	P (20 bar)	P (2 bar)	$\Delta P$ (bar)
0	26.79	5.732	0.032	5.7
30	27.64	5.67	0.032	5.638
60	28.29	5.604	0.032	<b>5.572</b>
90	26.57	5.672	0.032	<b>5.64</b>

Dari grafik di bawah dapat diamati terjadinya penurunan tekanan dari 0-60° hal ini disebabkan oleh terjadinya penurunan tekanan yaitu sebesar  $(\Delta P_{friction})_g = 0.016$  bar.

Dari grafik dibawah dapat dilihat pada posisi sudut  $60^\circ$  ke  $90^\circ$  terjadi kenaikan tekanan, hal ini disebabkan oleh LPG (dalam fasa liquid) yang keluar dari swirl nozzle dan pengaruh dari tekanan statik tabung LPG, sebesar  $\Delta P_{static} = P_{90} - P_{60} = 5.64 - 5.572 = 0.068 \text{ bar}$  dan cairan yang keluar dari swirl nozzle mengalami penguapan akibat putaran swirl yang dialami cairan sebesar  $\mu_{jt} = 0.5595$  setelah itu *vapour* mengalami kompresi dalam volume tetap sehingga tekanan didalam pipa akrilik bertambah. Besarnya faktor kompresibilitas gas pada temperature  $299.72 \text{ K}$  dan tekanan  $5.672 \text{ bar}$  adalah  $Z = 0.8646$ .

Volume liquid yang mengalir dari dalam tabung LPG pada posisi sudut tabung  $60^\circ$ -  $90^\circ$ . liquid mengalir didalam pipa selama 10 menit sebesar  $0.02246$  liter atau  $87.58 \%$  dari volume total pipa.

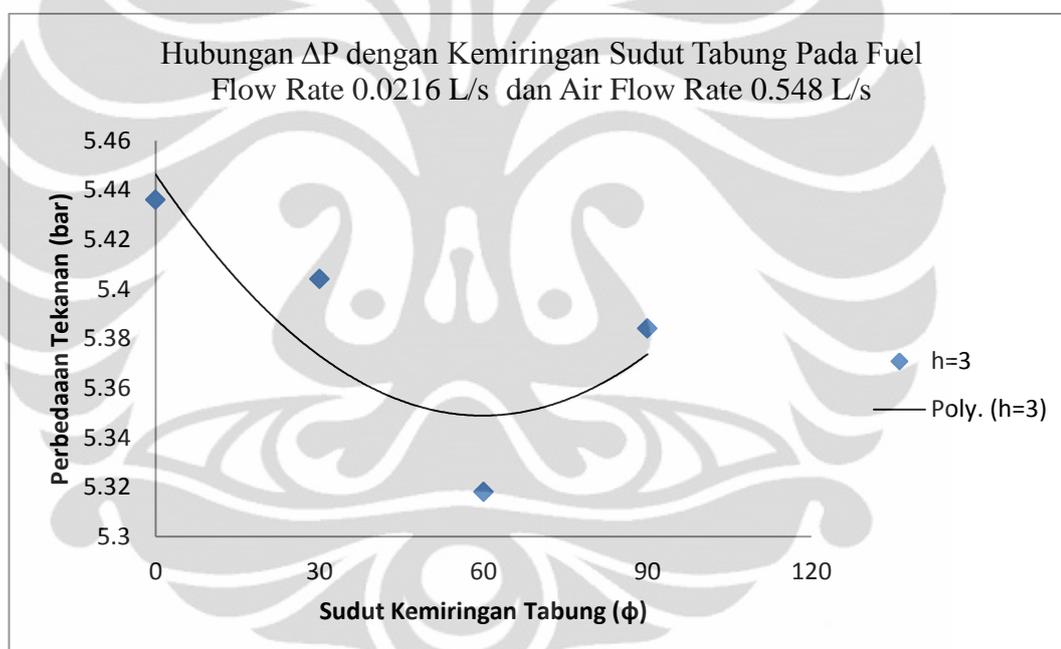


#### 4.2.4 Hubungan $\Delta P$ dengan Kemiringan Sudut Tabung Pada Fuel Flow Rate 0.0216 L/s dan Air Flow Rate 0.548 L/s

Tabel 4.2.4 Data Hasil Percobaan Untuk Fuel Flow Rate 0.0216 L/s dan Air Flow Rate 0.548 L/s

Sudut( $^{\circ}$ )	T1 ( $^{\circ}$ C)	P (20 bar)	P (2 bar)	$\Delta P$ (bar)
0	26.18	5.466	0.03	5.436
30	27.03	5.434	0.03	5.404
60	27.88	5.348	0.03	<b>5.318</b>
90	25.66	5.414	0.03	<b>5.384</b>

Dari grafik di bawah ini dapat diamati terjadinya penurunan tekanan dari 0-60 $^{\circ}$  hal ini disebabkan oleh terjadinya penurunan tekanan yaitu sebesar  $(\Delta P_{friction})_g = 0.016$  bar.



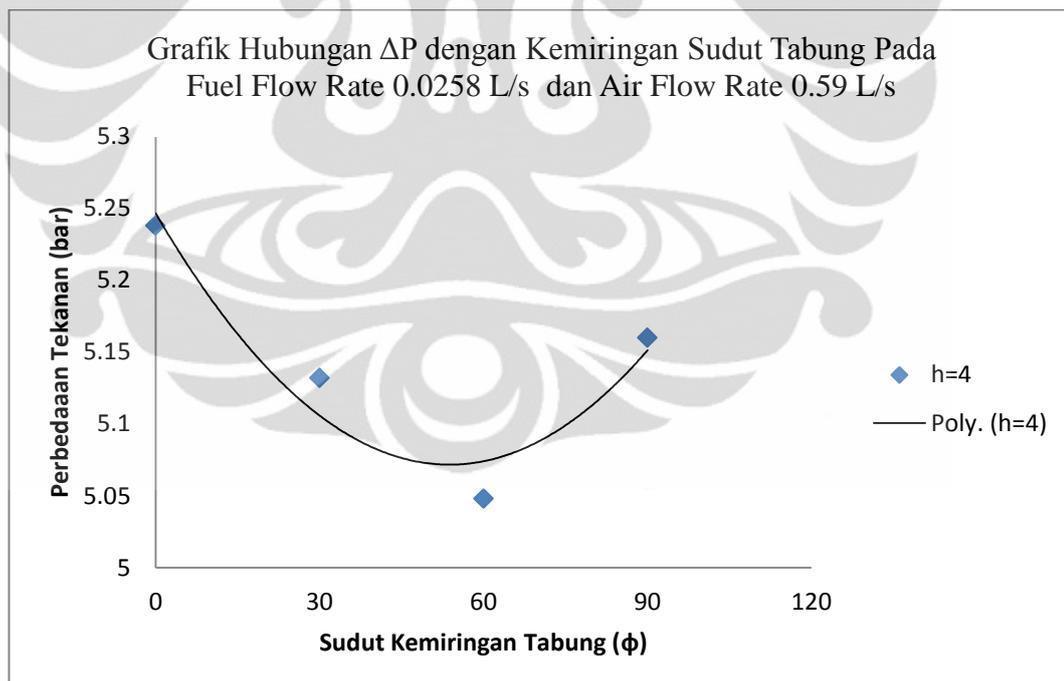
Dari grafik dapat dilihat pada posisi sudut 60 $^{\circ}$  ke 90 $^{\circ}$  terjadi kenaikan tekanan, hal ini disebabkan oleh LPG (dalam fasa liquid) yang keluar dari swirl nozzle dan pengaruh dari tekanan statik tabung LPG, sebesar  $\Delta P_{static} = P_{90} - P_{60} = 5.384 - 5.318 = 0.066$  bar dan cairan yang keluar dari swirl nozzle mengalami penguapan akibat putaran swirl yang dialami cairan sebesar  $\mu_{jt} = 0.4146$  setelah itu vapour mengalami kompresi dalam volume tetap sehingga tekanan didalam pipa akrilik bertambah. Besarnya faktor kompresibilitas gas pada temperature 298.81 K dan tekanan 5.414 bar adalah  $Z = 0.8703$ .

Volume liquid yang mengalir dari dalam tabung LPG pada posisi sudut tabung  $60^{\circ}$ -  $90^{\circ}$  . liquid mengalir didalam pipa selama 10 menit sebesar 0.02246 liter atau 87.58 % dari volume total pipa.

#### 4.2.5 Hubungan $\Delta P$ dengan Kemiringan Sudut Tabung Pada Fuel Flow Rate 0.0258 L/s dan Air Flow Rate 0.59 L/s

Tabel 4.2.4 Data Hasil Percobaan Untuk Fuel Flow Rate 0.0258 L/s dan Air Flow Rate 0.59 L/s

Sudut( $^{\circ}$ )	T1 ( $^{\circ}$ C)	P (20 bar)	P (2 bar)	$\Delta P$ (bar)
0	26	5.27	0.032	5.238
30	26.96	5.164	0.032	5.132
60	27.75	5.08	0.032	5.048
90	24.43	5.192	0.032	5.16



Dari grafik dapat diamati terjadinya penurunan tekanan dari  $0$ - $60^{\circ}$  hal ini disebabkan oleh terjadinya penurunan tekanan yaitu sebesar  $(\Delta P_{friction})_g = 0.016$  bar.

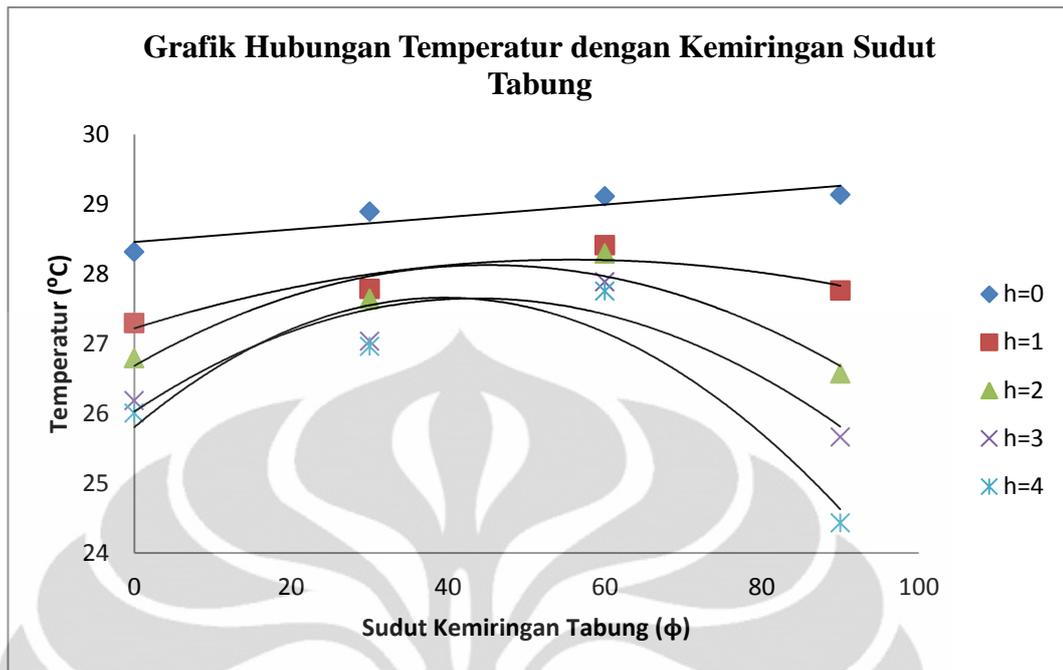
Dari grafik dapat dilihat pada posisi sudut  $60^\circ$  ke  $90^\circ$  terjadi kenaikan tekanan, hal ini disebabkan oleh LPG (dalam fasa liquid) yang keluar dari swirl nozzle dan pengaruh dari tekanan statik tabung LPG, sebesar  $\Delta P_{static} = P_{90} - P_{60} = 5.64 - 5.572 = 0.068 \text{ bar}$  dan cairan yang keluar dari swirl nozzle mengalami penguapan akibat putaran swirl yang dialami cairan sebesar  $\mu_{jt} = 0.4146$  setelah itu vapour mengalami kompresi dalam volume tetap sehingga tekanan didalam pipa akrilik bertambah. Besarnya faktor kompresibilitas gas pada temperatur 297.58 K dan tekanan 5.192 bar adalah  $Z = 0.8748$ .

Volume liquid yang mengalir dari dalam tabung LPG pada posisi sudut tabung  $60^\circ - 90^\circ$ . liquid mengalir didalam pipa selama 10 menit sebesar 0.02246 liter atau 87.58 % dari volume total pipa.

### **4.3 ANALISIS PENGARUH PERBEDAAN SUDUT KEMIRINGAN TABUNG TERHADAP PERBEDAAN TEMPERATUR**

Pada grafik dibawah ini untuk  $h=0$  digunakan sebagai kondisi awal, yang menjadi acuan dalam percobaan.

Dari grafik dibawah ini dapat dilihat pada posisi kemiringan tabung dari  $0^\circ - 60^\circ$  temperatur di sepanjang pipa mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan gas LPG yang ada didalam akrilik mengalami kompresi dalam volume yang tetap. Setelah dari posisi kemiringan tabung  $60^\circ - 90^\circ$  temperatur pada mengalami penurunan dikarenakan LPG dalam fasa cair mengalir dari swirl nozzle kemudian mengalami penguapan (evaporasi) sehingga temperature sepanjang aliran menurun. Hal ini dapat dibuktikan dengan persamaan Joule-Thompson yang menyatakan ketika  $\mu_{JT}$  bernilai positif jika  $\partial P$  selalu negatif dan  $\partial T$  selalu negatif maka temperature uap pengembunan dingin.



## BAB 5

### KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan, yaitu mencari hubungan antara tekanan, temperature terhadap sudut rotasi posisi tabung LPG terdapat hasil yang berhubungan dengan fuel flow rate. Sehingga dapat diperoleh beberapa kesimpulan:

1. Untuk fuel flow rate sama dengan 0 liter/s tidak ada aliran cairan LPG pada pipa akrilik meskipun posisi tabung di rotasikan dari  $0^0$ - $90^0$ .
2. Untuk fuel flow rate sama dengan 1,2,3,4 (skala rotameter) LPG dalam fasa cair akan mengalir disepanjang pipa akrilik hanya pada posisi tabung  $90^0$ .
3. Aliran dua-fasa yang mengalir disepanjang pipa akrilik merupakan aliran separted flow (aliran terpisah) dikarenakan kecepatan aliran vapour dan cair tidak sama. Pola alirannya adalah stratified wavy flow (aliran bergelombang) dan laminar. Hal ini terbukti dari hasil hitungan pada lampiran.
4. Pada fuel flow rate sama dengan 0 liter/s tekanan dan temperatur terus mengalami kenaikan seiring dengan perubahan posisi dari tabung LPG hal ini dikarenakan gas didalam pipa tidak mengalir dan terus mengalami ekspansi sehingga terjadi kompresi yang mengakibatkan kedua hal tersebut diatas terjadi.
5. Pada fuel flow rate sama dengan 1,2,3,4 (skala rotameter) dan posisi  $0^0$ - $60^0$  tekanan mengalami penurunan disebabkan oleh tekanan friksi yang terjadi. Berdeda hal dengan temperatur, temperatur pada posisi  $0^0$ - $60^0$  mengalami kenaikan karena terjadi proses ekspansi dan kompresi. Tekanan dari  $60^0$ - $90^0$  kembali naik karena tekanan dari cair dan uap. Sebaliknya temperatur mengalami pendinginan karena terjadi kondensasi.

## DAFTAR PUSTAKA

Cengel, Yunus A.dkk.2005.*Fundamental of Thermal-Fluid Sciences Second Edition* . McGrawhill. New York

Moran J., Shapiro N.M . 2006.*Fundamentals of Engineering Thermodynamics fifth edition*. Wiley

*Two-phase flow dynamics: Japan-U.S. seminar*, 1979

Biksono, Damawidjaya. *Visualisasi Aliran Dua Fasa dan Karakteristik Pipa Spiral*. Tesis Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia 2005

Nurdin, Almzuar. *Konfigurasi Aliran Dua-Fasa dan Analisis Perpindahan Kalor pada Pipa Horizontal*. Tesis Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia 2000

Djamruddin, Djamhir. *Pengaruh Pemasangan Difusser-Nozzle dengan Variasi Panjang Inlet dilihat Dari Kerugian Tekanan*. Tesis Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia 2002

Cengel, Yunus A.2005. *Thermodynamics an Engineering Approach-fifth edition*. McGrawHill. New York

## LAMPIRAN

### A. Data Hasil Percobaan

h=0				h=1				
P (20bar)	P(2 bar)	T (°C)	$\phi$	P (20bar)	P(2 bar)	T (°C)	$\phi$	Keterangan
6.24	0.038	27.9	0	6.16	0.032	27.4	0	
6.24	0.038	27.9	0	6.14	0.032	27.4	0	
6.26	0.038	28	0	6.14	0.032	27.3	0	
6.24	0.038	28.2	0	6.12	0.032	27.3	0	
6.26	0.038	28.1	0	6.12	0.032	27.2	0	
6.26	0.038	28.3	0	6.1	0.032	27.3	0	
6.26	0.038	28.3	0	6.08	0.032	27.3	0	
6.26	0.038	28.7	0	6.08	0.032	27.3	0	
6.28	0.038	28.9	0	6.06	0.032	27.2	0	
6.26	0.038	28.8	0	6.06	0.032	27.2	0	
6.28	0.038	28.9	30	6.08	0.032	27.5	30	
6.28	0.038	28.7	30	6.06	0.032	27.5	30	
6.28	0.038	29	30	6.04	0.032	27.7	30	
6.3	0.038	28.7	30	6.02	0.032	27.8	30	
6.28	0.038	28.9	30	6.02	0.032	27.8	30	
6.28	0.038	28.9	30	6.02	0.032	27.8	30	
6.28	0.038	28.9	30	6	0.032	27.9	30	
6.28	0.038	28.9	30	6	0.032	27.9	30	
6.28	0.038	29	30	5.98	0.032	27.9	30	
6.28	0.038	29	30	5.98	0.032	28	30	
6.3	0.038	29.1	60	6	0.032	28	60	
6.3	0.038	29.1	60	5.94	0.032	28.2	60	
6.3	0.038	29.1	60	5.96	0.032	28.3	60	
6.3	0.038	29.1	60	5.96	0.032	28.2	60	
6.32	0.038	29.1	60	5.94	0.032	28.4	60	
6.32	0.038	29.1	60	5.94	0.032	28.5	60	
6.3	0.038	29.1	60	5.94	0.032	28.4	60	
6.32	0.038	29.1	60	5.94	0.032	28.6	60	
6.32	0.038	29.1	60	5.92	0.032	28.7	60	
6.32	0.038	29.2	60	5.92	0.032	28.8	60	
6.34	0.038	29.1	90	5.98	0.032	27.2	90	Cairan 9mm
6.32	0.038	29.1	90	5.98	0.032	27.6	90	

6.32	0.038	29.2	90
6.32	0.038	29.1	90
6.32	0.038	29.3	90
6.32	0.038	29.1	90
6.32	0.038	29.1	90
6.32	0.038	29.1	90
6.32	0.038	29.1	90
6.32	0.038	29.1	90

5.98	0.032	27.6	90
6.02	0.032	27.6	90
6.02	0.032	27.7	90
6	0.032	27.8	90
6.02	0.032	27.9	90
6.02	0.032	28	90
6.02	0.032	28.2	90
6.04	0.032	28	90

h=2				
P (20bar)	P(2 bar)	T (°C)	$\phi$	Keterangan
5.82	0.032	26.8	0	
5.8	0.032	26.8	0	
5.8	0.032	26.7	0	
5.78	0.032	26.7	0	
5.76	0.032	26.7	0	
5.76	0.032	26.8	0	
5.74	0.032	26.8	0	
5.74	0.032	26.8	0	
5.72	0.032	26.8	0	
5.72	0.032	27	0	
5.76	0.032	27.3	30	
5.74	0.032	27.6	30	
5.74	0.032	27.5	30	
5.72	0.032	27.6	30	
5.7	0.032	27.6	30	
5.7	0.032	27.7	30	
5.68	0.032	27.7	30	
5.66	0.032	27.7	30	
5.66	0.032	27.8	30	
5.66	0.032	27.9	30	
5.68	0.032	28	60	
5.66	0.032	28.1	60	
5.66	0.032	28.6	60	
5.64	0.032	28.1	60	
5.64	0.032	28.1	60	
5.62	0.032	28.3	60	
5.62	0.032	28.4	60	
5.62	0.032	28.4	60	
5.6	0.032	28.4	60	
5.6	0.032	28.5	60	

h=3				
P (20bar)	P (2bar)	T (°C)	SUDU T	Keterangan
5.58	0.03	26.1	0	
5.56	0.03	26.1	0	
5.54	0.03	26.1	0	
5.5	0.03	26.1	0	
5.5	0.03	26.2	0	
5.5	0.03	26.2	0	
5.46	0.03	26.2	0	
5.46	0.03	26.2	0	
5.44	0.03	26.3	0	
5.42	0.03	26.3	0	
5.54	0.03	26.5	30	
5.5	0.03	26.6	30	
5.5	0.03	26.7	30	
5.48	0.03	26.9	30	
5.46	0.03	27	30	
5.46	0.03	27.1	30	
5.44	0.03	27.3	30	
5.44	0.03	27.3	30	
5.42	0.03	27.4	30	
5.4	0.03	27.5	30	
5.42	0.03	27.6	60	
5.42	0.03	27.7	60	
5.42	0.03	27.8	60	
5.4	0.03	27.8	60	
5.38	0.03	27.9	60	
5.36	0.03	27.9	60	
5.36	0.03	27.9	60	
5.34	0.03	28	60	
5.34	0.03	28.1	60	
5.34	0.03	28.1	60	

5.58	0.032	25.9	90	CAIRA N 9mm	5.36	0.03	24.8	90	cairan 9 mm
5.66	0.032	26.3	90		5.4	0.03	25.3	90	
5.7	0.032	26.4	90		5.42	0.03	25.5	90	
5.72	0.032	26.6	90		5.42	0.03	25.7	90	
5.7	0.032	26.7	90		5.42	0.03	25.7	90	
5.7	0.032	26.7	90		5.46	0.03	25.8	90	
5.74	0.032	26.8	90		5.48	0.03	25.9	90	
5.74	0.032	26.8	90		5.48	0.03	25.9	90	
5.76	0.032	26.6	90		5.5	0.03	25.9	90	
5.74	0.032	26.9	90		5.52	0.03	26.1	90	

h=4				
P(20)	P(2)	T1	SUDUT	Keterangan
5.38	0.032	26.1	0	
5.36	0.032	25.7	0	
5.34	0.032	25.8	0	
5.32	0.032	25.8	0	
5.32	0.032	26	0	
5.3	0.032	26	0	
5.28	0.032	26	0	
5.28	0.032	26.1	0	
5.26	0.032	26.2	0	
5.24	0.032	26.3	0	
5.26	0.032	26.5	30	
5.24	0.032	26.6	30	
5.22	0.032	26.6	30	
5.22	0.032	26.8	30	
5.2	0.032	26.9	30	
5.2	0.032	27	30	
5.18	0.032	27.1	30	
5.16	0.032	27.3	30	
5.14	0.032	27.4	30	
5.14	0.032	27.4	30	
5.16	0.032	27.6	60	
5.14	0.032	27.6	60	
5.14	0.032	27.7	60	
5.12	0.032	27.7	60	
5.12	0.032	27.7	60	
5.12	0.032	27.7	60	
5.1	0.032	27.8	60	
5.08	0.032	27.9	60	
5.08	0.032	27.9	60	

5.06	0.032	27.9	60	
5.1	0.032	24.5	90	Cairan 8mm
5.14	0.032	23.8	90	
5.18	0.032	24.1	90	
5.2	0.032	24.3	90	
5.24	0.032	24.3	90	
5.24	0.032	24.5	90	
5.26	0.032	24.6	90	
5.28	0.032	24.6	90	
5.3	0.032	24.8	90	
5.3	0.032	24.8	90	

### Setelah Diolah

$h = 0$

Sudut(°)	T1 (°c)	P (20 bar)	P (2 bar)
0	28.31	6.218	0.038
30	28.89	6.244	0.038
60	29.11	6.274	0.038
90	29.13	6.286	0.038

$h = 1$

Sudut(°)	T1 (°c)	P (20 bar)	P (2 bar)
0	27.29	6.074	0.032
30	27.78	5.988	0.032
60	28.41	5.914	0.032
90	27.76	5.976	0.032

$h = 2$

Sudut(°)	T1 (°c)	P (20 bar)	P (2 bar)
0	26.79	5.732	0.032
30	27.64	5.67	0.032
60	28.29	5.604	0.032
90	26.57	5.672	0.032

$h = 3$

Sudut(°)	T1 (°c)	P (20 bar)	P (2 bar)
0	26.18	5.466	0.03
30	27.03	5.434	0.03
60	27.88	5.348	0.03
90	25.66	5.414	0.03

$h = 4$

Sudut(°)	T1 (°c)	P (20 bar)	P (2 bar)
0	26	5.27	0.032
30	26.96	5.164	0.032
60	27.75	5.08	0.032
90	24.43	5.192	0.032

## B. Perhitungan besarnya penurunan tekanan *friction*

1. Penurunan tekanan pada fasa *Liquid*

$$\Delta P_{friction} = \phi_L^2 \Delta P_L$$

$$\Delta P_{friction} = (1.092) (0.000005371)$$

$$\Delta P_{friction} = 0.000005865 \text{ bar}$$

2. Penurunan tekanan pada fasa *Vapour*

$$\Delta P_{friction} = \phi_V^2 \Delta P_V$$

$$\Delta P_{friction} = (2981.15)(0.000005371)$$

$$\Delta P_{friction} = 0.016 \text{ bar}$$

3. Penurunan tekanan pada fasa *liquid*

$$\Delta P_L = \frac{4f L \dot{m}^2 (1-x)^2}{D 2 \rho_L}$$

$$\Delta P_L = \frac{4(0.0267)(0.27)(0.0494)^2 (1 - 0.0005627)^2}{(0.011)(2)(594.36)}$$

$$\Delta P_L = 0.000005371 \text{ bar}$$

4. Penurunan tekanan pada fasa *liquid*

$$\Delta P_V = \frac{4f L \dot{m}^2 x^2}{D 2 \rho_V}$$

$$\Delta P_V = \frac{(2) (1.179)(0.27) (0.0000278)^2 (0.0005627)^2}{(0.011) (2.36)}$$

$$\Delta P_V = 6.0013 \times 10^{-15} \text{ bar}$$

5. Besarnya  $Re$  pada fasa liquid

$$Re_L = \frac{(1 - x) \cdot \dot{m} \cdot D}{\mu_L}$$

$$Re_L = \frac{(1 - 0.0005627) (0.0494)(0.011)}{7.124 \times 10^{-6}}$$

$$Re_L = 76.234$$

6. Besarnya  $Re$  pada fasa Vapour

$$Re_V = \frac{x \cdot \dot{m} \cdot D}{\mu_V}$$

$$Re_V = \frac{(0.0005627) (0.0000278)(0.011)}{8.299 \times 10^{-6}}$$

$$Re_V = 0.00002074$$

7. Besar *friction* yang terjadi pada fasa *liquid*

$$f_L = \frac{0.079}{Re_L^{0.25}}$$

$$f_L = \frac{0.079}{76.234^{0.25}}$$

$$f_L = 0.0267$$

8. Besar *friction* yang terjadi pada fasa *liquid*

$$f_v = \frac{0.079}{Re_v^{0.25}}$$

$$f_v = 1.179$$

9. Besarnya nilai faktor pengali untuk fasa liquid

$$\Phi_L^2 = 1 + \frac{C}{X} + \frac{1}{X^2}$$

$$\phi_L^2 = 1 + \frac{5}{52.148} + \frac{1}{52.148^2}$$

$$\phi_L^2 = 1.092$$

10. Besarnya nilai faktor pengali untuk fasa vapour

$$\phi_V^2 = 1 + CX + X^2$$

$$\phi_V^2 = 1 + 5(52.148) + 52.148^2$$

$$\phi_V^2 = 2981.15$$

Nilai C dapat ditentukan dengan kondisi aliran dua fasa yang terjadi, nilai dapat di ambil dari table di bawah ini:

Value Of C		
Liquid	Vapour	C
Turbulent	Turbulent	20
Laminar	Turbulent	12
Turbulent	Laminar	10
<b>Laminar</b>	<b>Laminar</b>	5

11. Parameter Martinelli (X), besar parameter ini ditentukan dengan persamaan berikut ini:

$$X = \left(\frac{1-x}{x}\right)^{0.9} \left(\frac{\rho_V}{\rho_L}\right)^{0.5} \left(\frac{\mu_L}{\mu_V}\right)^{0.1}$$

$$X = \left(\frac{1-0.0005627}{0.0005627}\right)^{0.9} \left(\frac{2.36}{594.36}\right)^{0.5} \left(\frac{7.124}{8.299}\right)^{0.1}$$

$$X = 52.148$$

### C. Mencari faktor kompresibilitas (Z).

Untuk mencari faktor kompresibilitas (Z), seperti yang telah dijelaskan didasar teori, temperature dan tekanan kritikal dari LPG harus ditentukan dahulu. Karena LPG adalah gas campuran dengan komposisi butana 70% dan propane 30%, maka perhitungan yang dilakukan menggunakan aturan Kay.

Tabel. Temperatur dan tekanan kritikal butane dan propana

Gas	Temperatur kritikal (K)	Tekanan kritikal (MPa)
Butana	425.12	3.79
Propana	369.83	4.25

## 1. Temperatur pseudokritikal

$$T_{pc} = \sum_{i=1}^k x_i T_{ci}$$

$$T_{pc} = (0.7 \times 425.12) + (0.3 \times 369.83)$$

$$T_{pc} = 408.52 \text{ K}$$

## 2. Tekanan pseudokritikal

$$P_{pc} = \sum_{i=1}^k x_i P_{ci}$$

$$P_{pc} = (0.7 \times 3.79) + (0.3 \times 4.25)$$

$$P_{pc} = 3.928 \text{ MPa}$$

h=0

Sudut(°)	T1 (°C)	P (20 bar)	P (2 bar)	ΔP (bar)
<b>0</b>	<b>28.31</b>	<b>6.218</b>	<b>0.038</b>	<b>6.18</b>
30	28.89	6.244	0.038	6.206
60	29.11	6.274	0.038	6.236
90	29.13	6.286	0.038	6.248

## 3. Temperatur pseudoreduced

$$T_{pr} = \frac{T}{T_c}$$

$$T_{pr} = \frac{(28.31 + 273.15)}{408.52}$$

$$T_{pr} = 0.7379$$

4. Tekanan pseudoreduced

$$P_{pr} = \frac{P}{P_c}$$

$$P_{pr} = \frac{6.218 \times 10^5 / 10^6}{3.928}$$

$$P_{pr} = 0.16$$

Nilai  $T_{cr}$  dan  $P_{cr}$  di plot ke dalam grafik. Sehingga memperoleh nilai faktor kompresibilitas  $Z = 0.8522$

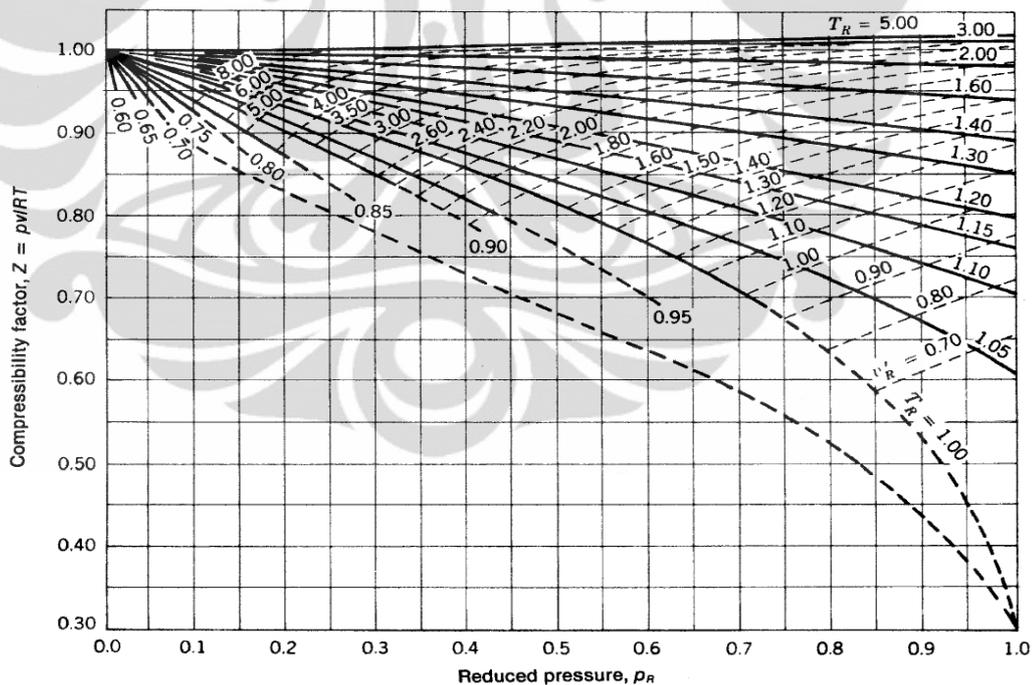


Figure A-1 Generalized compressibility chart,  $p_R \leq 1.0$ . Source: E. F. Obert, *Concepts of Thermodynamics*, McGraw-Hill, New York, 1960.

**Faktor kompresibilitas**

h=0

Sudut ( $^{\circ}$ )	T (K)	P (20 bar)	P (2 MPa)	Tpc (K)	Ppc (MPa)	Tpr	Ppr	Z

0	301.46	6.218	0.6218	408.52	3.928	0.7379	0.1583	0.8522
30	302.04	6.244	0.6244	408.52	3.928	0.7394	0.1590	0.8523
60	302.26	6.274	0.6274	408.52	3.928	0.7399	0.1597	0.8518
90	302.28	6.286	0.6286	408.52	3.928	0.7399	0.1600	0.8515

h=1

Sudut( <sup>0</sup> )	T (K)	P (20 bar)	P (2 MPa)	T <sub>pc</sub> (K)	P <sub>pc</sub> (MPa)	T <sub>pr</sub>	P <sub>pr</sub>	Z
0	300.44	6.074	0.6074	408.52	3.928	0.7354	0.1546	0.8546
30	300.93	5.988	0.5988	408.52	3.928	0.7366	0.1524	0.8577
60	301.56	5.914	0.5914	408.52	3.928	0.7382	0.1506	0.8605
90	300.91	5.976	0.5976	408.52	3.928	0.7366	0.1521	0.858

h=2

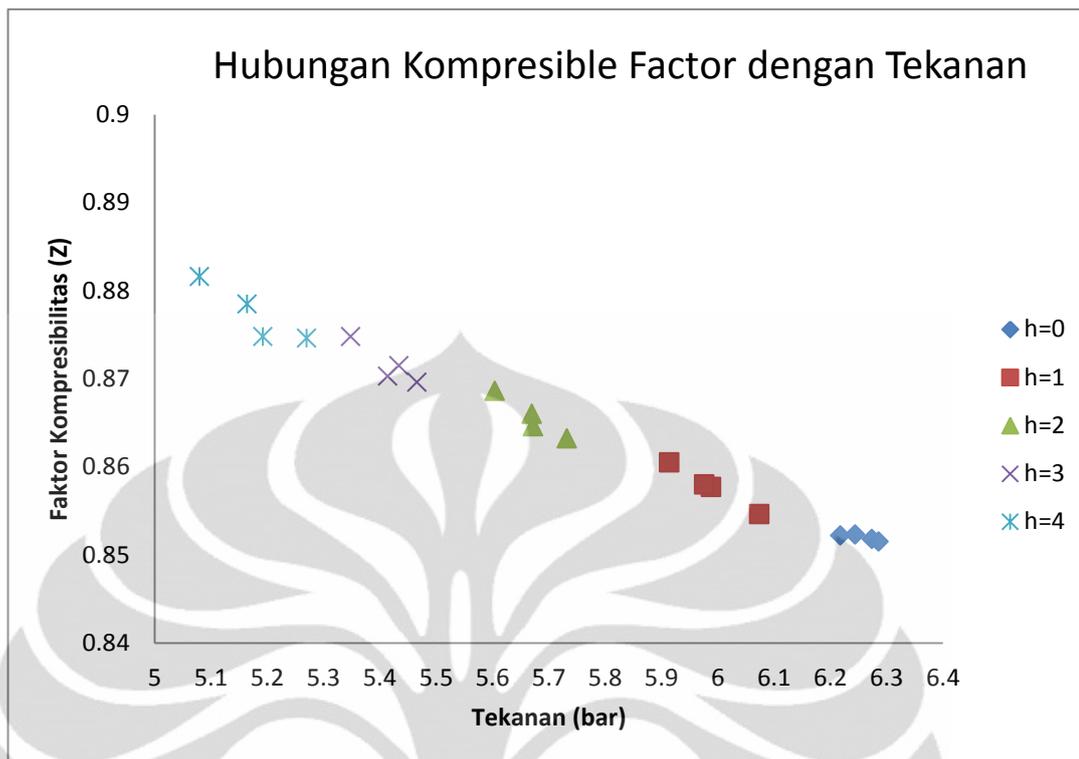
Sudut( <sup>0</sup> )	T (K)	P (20 bar)	P (2 MPa)	T <sub>pc</sub> (K)	P <sub>pc</sub> (MPa)	T <sub>pr</sub>	P <sub>pr</sub>	Z
0	299.94	5.732	0.5732	408.52	3.928	0.7342	0.1459	0.8632
30	300.79	5.67	0.567	408.52	3.928	0.7363	0.1443	0.866
60	301.44	5.604	0.5604	408.52	3.928	0.7379	0.1427	0.8686
90	299.72	5.672	0.5672	408.52	3.928	0.7337	0.1444	0.8646

h=3

Sudut( <sup>0</sup> )	T (K)	P (20 bar)	P (2 MPa)	T <sub>pc</sub> (K)	P <sub>pc</sub> (MPa)	T <sub>pr</sub>	P <sub>pr</sub>	Z
0	299.33	5.466	0.5466	408.52	3.928	0.7327	0.1392	0.8696
30	300.18	5.434	0.5434	408.52	3.928	0.7348	0.1383	0.8715
60	301.03	5.348	0.5348	408.52	3.928	0.7369	0.1362	0.8748
90	298.81	5.414	0.5414	408.52	3.928	0.7314	0.1378	0.8703

h=4

Sudut( <sup>0</sup> )	T (K)	P (20 bar)	P (2 MPa)	T <sub>pc</sub> (K)	P <sub>pc</sub> (MPa)	T <sub>pr</sub>	P <sub>pr</sub>	Z
0	299.15	5.27	0.527	408.52	3.928	0.7323	0.1342	0.8746
30	300.11	5.164	0.5164	408.52	3.928	0.7346	0.1315	0.8785
60	300.9	5.08	0.508	408.52	3.928	0.7366	0.1293	0.8816
90	297.58	5.192	0.5192	408.52	3.928	0.7284	0.1322	0.8748



**D. Menghitung hubungan temperature dengan perubahan sudut kemiringan tabung gas di analisis menggunakan persamaan Joule-Thompson.**

Data:

Propana: 30 % dari campuran total

Butana: 70 % dari campuran total

Butana	
Kalor Spesifik (Cp)	1.7164 kJ/kg.K, gas (15 °C, 1 atm)
	2.31 kJ/kg.K, liquid (0 °C, 1 atm)

Propana	
Kalor Spesifik (Cp)	1.6794kJ/kg.K, gas (15 °C, 1 atm)
	2.25 kJ/kg.K, liquid (0 °C, 1 atm)

a. Fasa Vapour

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

$$Cp_m = (0.3 \times 1.6794) + (0.7 \times 1.7164)$$

$$Cp_m = 1.7052 \text{ kJ/kg.K}$$

b. Fasa Liquid

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

$$Cp_m = (0.3 \times 2.25) + (0.7 \times 2.31)$$

$$Cp_m = 2.292 \text{ kJ/kg.K}$$

c. Koefisien Of thermal Expansion ( $\alpha_V$ )

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

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

$$\Phi_{ij} = \frac{1}{\sqrt{8}} \left( 1 + \frac{\mu_i}{\mu_j} \right)^{-\frac{1}{2}} \left[ 1 + \left( \frac{\mu_i}{\mu_j} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{\mu_i}{\mu_j} \right)^{\frac{1}{4}} \right]^2$$

$$\phi_{ij} = \frac{1}{\sqrt{8}} \left(1 + \frac{8.4}{8.029}\right)^{-\frac{1}{2}} \left[1 + \left(\frac{8.4}{8.029}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{8.4}{8.029}\right)^{\frac{1}{4}}\right]^2$$

$$\phi_{ij} = 0.998$$

$$\alpha_V = \frac{\sum_{i=1}^k x_i \mu_i}{\sum_{i=1}^k x_i \phi_{ij}}$$

$$\alpha_V = \frac{0.7 \times 8.4}{0.7 \times 0.998 + 0.3 \times 0.998} + \frac{0.3 \times 8.029}{0.7 \times 0.998 + 0.3 \times 0.998}$$

$$\alpha_V = 0.9995$$

d. Koefisien Joule-Thompson

LPG		
T (K)	Keterangan	
301.46	V (Volume Vapour) L	0.0256
302.04	mf	0
302.26	mu	0
302.28	Cp	1.7052 kJ/kg. K

$$\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_h = \frac{V}{C_p} (\alpha_V T - 1)$$

$$\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_h = \frac{0.0256}{1.7052} (0.995 \times 301.46 - 1)$$

$$\mu_{JT} = 4.5166$$

**Tabel Perhitungan Untuk Koefisien Joule-Thompson**

h=0			
Sudut ( <sup>o</sup> )	T (K)	$\mu_{jt}$	Keterangan

0	301.46	4.5166	V (Volume Vapour pada Posisi 0°-90°) (Liter)	0.02564594
30	302.04	4.5253	V (Volume Liquid pada Posisi 90°) (Liter)	0
60	302.26	4.5286	$\dot{m}_f$ (liter/s)	0
90	302.28	4.5289	Cp (Vapour) (kJ/kg.K)	1.7052
			$\alpha$	0.9995

h=1				
Sudut (°)	T (K)	$\mu_{jt}$	Keterangan	
0	300.44	4.5012	V (Volume Vapour pada Posisi 0°-60°) (Liter)	0.02564594
30	300.93	4.5086	V (Volume Vapour pada Posisi 90°) (Liter)	0.00318279
60	301.56	4.5181	V (Volume Liquid pada Posisi 90°) (Liter)	0.02246315
90	300.91	0.5595	$\dot{m}_f$ (liter/s)	0.0157
			Cp (Vapour) (kJ/kg.K)	1.7052
			$\alpha$	0.9995

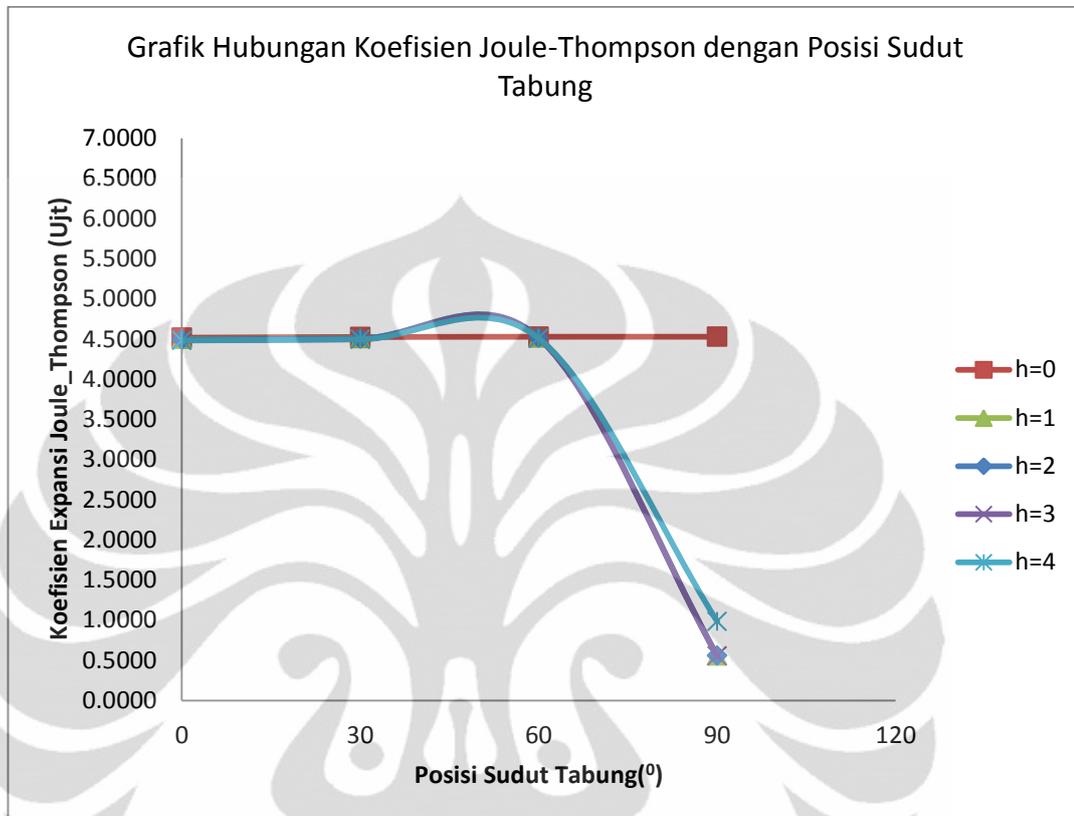
h=2				
Sudut (°)	T (K)	$\mu_{jt}$	Keterangan	
0	299.94	4.4938	V (Volume Vapour pada Posisi 0°-60°) (Liter)	0.02564594
30	300.79	4.5065	V (Volume Vapour pada Posisi 90°) (Liter)	0.00318279
60	301.44	4.5163	V (Volume Liquid pada Posisi 90°) (Liter)	0.02246315
90	299.72	0.5573	$\dot{m}_f$ (liter/s)	0.0258
			Cp (Vapour) (kJ/kg.K)	1.7052

$\alpha$	0.9995
----------	--------

h=3				
Sudut( <sup>0</sup> )	T (K)	$\mu_{jt}$	Keterangan	
0	299.33	4.4846	V (Volume Vapour pada Posisi 0 <sup>0</sup> -60 <sup>0</sup> ) (Liter)	0.02564594
30	300.18	4.4974	V (Volume Vapour pada Posisi 90 <sup>0</sup> ) (Liter)	0.00318279
60	301.03	4.5101	V (Volume Liquid pada Posisi 90 <sup>0</sup> ) (Liter)	0.02246315
90	298.81	0.5556	$\dot{m}_f$ (liter/s)	0.0216
Cp (Vapour) (kJ/kg.K)				1.7052
$\alpha$				0.9995

h=4				
Sudut ( <sup>0</sup> )	T (K)	$\mu_{jt}$	Keterangan	
0	299.15	4.4819	V (Volume Vapour pada Posisi 0 <sup>0</sup> -60 <sup>0</sup> ) (Liter)	0.02564594
30	300.11	4.4963	V (Volume Vapour pada Posisi 90 <sup>0</sup> ) (Liter)	0.00566419
60	300.9	4.5082	V (Volume Liquid pada Posisi 90 <sup>0</sup> ) (Liter)	0.01998175
90	297.58	0.9847	$\dot{m}_f$ (liter/s)	0.0258
Cp (Vapour) (kJ/kg.K)				1.7052

$\alpha$	0.9995
----------	--------



**Koefisien Joule-Thompson Berdasarkan Percobaan  $\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_h$**

h=0			Keterangan	
Sudut(°)	T1 (°C)	P (20 bar)		
0	28.31	6.218		Digunakan sebagai temperatur awal dan tekanan awal
30	28.89	6.244		
60	29.11	6.274		
90	29.13	6.286		

h=1

Sudut(°)	To (°C)	T (°C)	$\Delta T$ (°C)	Po (20 Bar)	P (20 bar)	$\Delta P$	$\mu_{jt}$
----------	---------	--------	-----------------	-------------	------------	------------	------------

0	28.31	27.29	-1.02	6.218	6.074	-0.144	7.08
30	28.89	27.78	-1.11	6.244	5.988	-0.256	4.34
60	29.11	28.41	-0.7	6.274	5.914	-0.36	1.94
90	29.13	27.76	-1.37	6.286	5.976	-0.31	4.42

h=2

Sudut( $^{\circ}$ )	To ( $^{\circ}$ C)	T ( $^{\circ}$ C)	$\Delta T$ ( $^{\circ}$ C)	Po (20 Bar)	P (20 bar)	$\Delta P$	$\mu_{jt}$
0	28.31	26.79	-1.52	6.218	5.732	-0.486	3.13
30	28.89	27.64	-1.25	6.244	5.67	-0.574	2.18
60	29.11	28.29	-0.82	6.274	5.604	-0.67	1.22
90	29.13	26.57	-2.56	6.286	5.672	-0.614	4.17

h=3

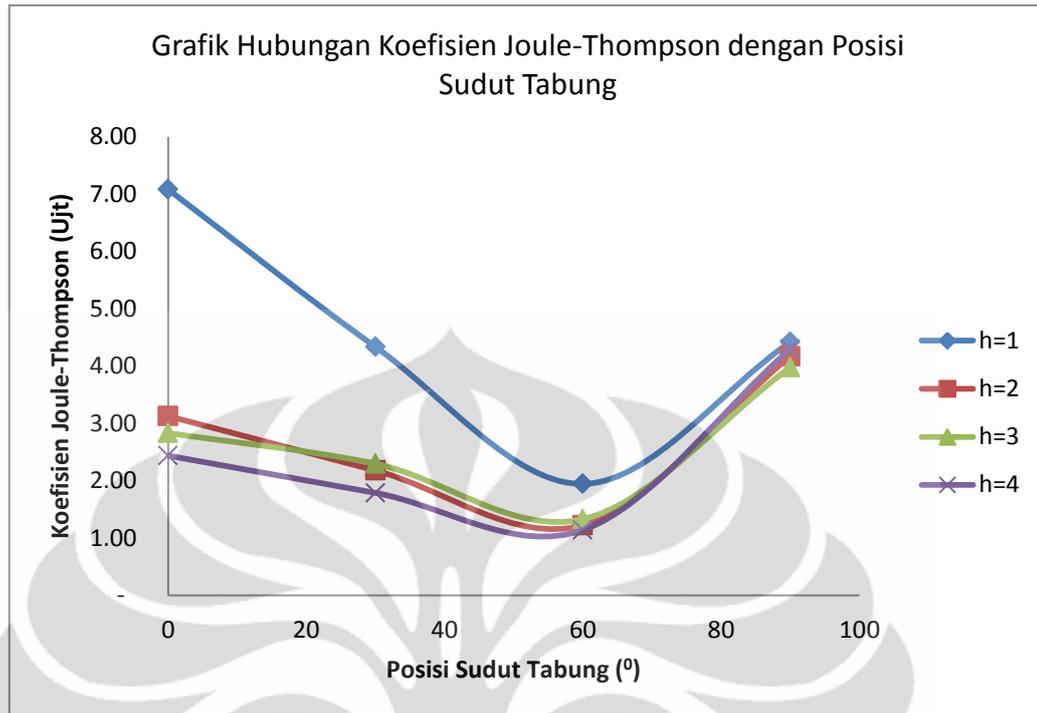
Sudut( $^{\circ}$ )	To ( $^{\circ}$ C)	T ( $^{\circ}$ C)	$\Delta T$ ( $^{\circ}$ C)	Po (20 Bar)	P (20 bar)	$\Delta P$	$\mu_{jt}$
0	28.31	26.18	-2.13	6.218	5.466	-0.752	2.83
30	28.89	27.03	-1.86	6.244	5.434	-0.81	2.30
60	29.11	27.88	-1.23	6.274	5.348	-0.926	1.33
90	29.13	25.66	-3.47	6.286	5.414	-0.872	3.98

h=4

Sudut( $^{\circ}$ )	To ( $^{\circ}$ C)	T ( $^{\circ}$ C)	$\Delta T$ ( $^{\circ}$ C)	Po (20 Bar)	P (20 bar)	$\Delta P$	$\mu_{jt}$
0	28.31	26	-2.31	6.218	5.27	-0.948	2.44
30	28.89	26.96	-1.93	6.244	5.164	-1.08	1.79
60	29.11	27.75	-1.36	6.274	5.08	-1.194	1.14
90	29.13	24.43	-4.7	6.286	5.192	-1.094	4.30

Ketika $\mu_{JT}$ is	Jika $\partial P$	Demikian $\partial T$	Jadi Uap
Positif	Selalu Negatif	Negatif	Dingin
Negatif	Selalu Negatif	Positif	Panas

Sesuai data dari tabel diatas dapat digambarkan grafik yang merepresentasikannya.



### E. ALIRAN DUA-FASA DARI SWIRL NOZZLE

Aliran liquid-gas keluar dari swirl nozzle ketika tabung berada pada posisi  $60^{\circ}$  -  $90^{\circ}$ .

#### 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

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

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

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

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

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

3. Untuk menghitung densitas aliran LPG yang homogen dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

Data: Tinggi Liquid di sepanjang pipa akrilik 9 mm

Tinggi Gas di sepanjang pipa akrilik 2 mm

$$A \text{ akrilik: } \pi r^2 = 3.14x(5.5x10^{-3})^2 = 0.000094985 \text{ m}^2$$

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

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

$$\dot{m}_V = 2.36x11.788x10^{-6} = 0.0000278 \text{ kg/s}$$

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

$$\dot{m}_L = 594.36x83.196x10^{-6} = 0.0494 \text{ kg/s}$$

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

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

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

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

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

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

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 %

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

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

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

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

$$S = \frac{C_V}{C_L} = \frac{\rho_L x (1 - \alpha)}{\rho_v (1 - x) \alpha}$$

$$S = \frac{C_V}{C_L} = \frac{594.36 (0.0005627)(1 - 0.1249)}{2.36 (1 - 0.0005627) 0.1249}$$

$$S = \frac{C_V}{C_L} = \frac{0.292}{0.294}$$

Atau

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

$$\alpha = \frac{A_V}{A} = \frac{11.87}{94.98} = 0.1249$$

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

$$0.1249 = \frac{1}{1 + \left( \frac{C_V(1-0.0005627)2.36}{C_L(0.0005627)594.36} \right)}$$

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

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

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

$$2.358 C_V = 2.340 C_L$$

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

5. Menghitung besarnya koefisien gradien tekanan yang terjadi sepanjang aliran pipa.

Data LPG:

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

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

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

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

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

$$C_p = 2.292 \text{ kJ/kg.K}$$

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

$$\lambda^2 = \frac{P_L}{P_V} = \left(\frac{1-x}{x}\right)^{1.75} \cdot \frac{\rho_V}{\rho_L} \left(\frac{\mu_L}{\mu_V}\right)^{0.25}$$

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

$$\lambda = 43.098$$

