



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KAJIAN EKSPERIMENTAL KEBOCORAN GAS LPG PADA  
TABUNG GAS DENGAN BERBAGAI TYPE KATUP  
PENGAMAN YANG TERPASANG**

**SKRIPSI**

**FERDY BASTIAN**

**0606073146**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KAJIAN EKSPERIMENTAL KEBOCORAN GAS LPG PADA  
TABUNG GAS DENGAN BERBAGAI TYPE KATUP  
PENGAMAN YANG TERPASANG**

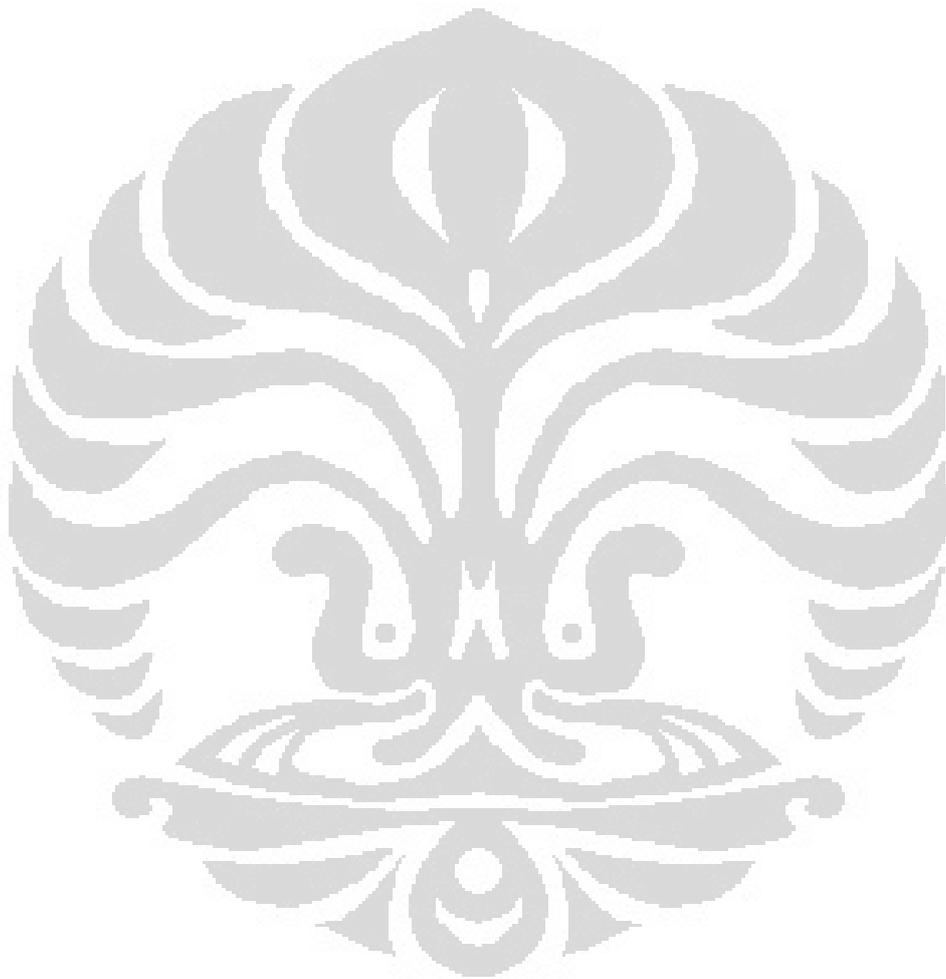
**SKRIPSI**

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

**FERDY BASTIAN**

**0606073146**

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



## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul :

### **KAJIAN EKSPERIMENTAL KEBOCORAN GAS LPG PADA TABUNG GAS DENGAN BERBAGAI TYPE KATUP PENGAMAN YANG TERPASANG**

Yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan tiruan atau duplikasi dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya. Penulisan tugas akhir ini dibuat bersama dengan Refliwanto Alexander Panjaitan (0706267282) dengan judul tugas akhir *Kajian Eksperimental Kebocoran Gas LPG Pada Tabung Gas Dengan Berbagai Type Seal Pengaman Yang Terpasang* sehingga terdapat kata-kata atau kalimat yang sama.

Nama : Ferdy Bastian  
NPM : 0606073146  
Tanda Tangan :   
Tanggal : 6 Januari 2012

iii

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Ferdy Bastian  
NPM : 0606073146  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Kajian Eksperimental Kebocoran Gas LPG pada Tabung Gas Dengan Berbagai Type Katup Pengaman Yang Terpasang

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 Indarasi

### 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

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

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

Nama : Ferdy Bastian  
NPM : 0606073146  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

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

**KAJIAN EKSPERIMENTAL KEBOCORAN GAS LPG  
PADA TABUNG GAS DENGAN BERBAGAI TYPE KÁTUP  
PENGAMAN YANG TERPASANG**

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 : 6 Januari 2012

Yang menyatakan

  
(Ferdy Bastian)

## KATA PENGANTAR

Penulis panjatkan puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan bimbingan-Nya selama proses pengerjaan skripsi dan dalam pengerjaan laporan skripsi, yang dapat terselesaikan dengan baik.

Buku laporan skripsi ini, dibuat berdasarkan hasil penelitian di Laboratorium Termodinamika, dengan judul, **Kajian Eksperimental Kebocoran Gas LPG Pada Tabung Gas Dengan Berbagai Type Katup Pengaman Yang Terpasang**. Berisikan secara umum mengenai proses terjadinya kebocoran pada tabung gas.

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu dalam proses pengerjaan skripsi dan pengerjaan laporan ini. Adapun pihak-pihak tersebut,

1. Bapa, Mama, M2 (Marindi dan Melani) yang telah memberi dukungan secara moril dan material.
2. Prof. Dr. Ir. I Made Kartika, Dipl. Ing selaku dosen pembimbing skripsi yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
3. Ir. tris budiono M, M.Si selaku dosen pembimbing akademis penulis, yang selalu memberi semangat dan dukungan di setiap semester.
4. Dr. Ir. Harinaldi, M.Eng, selaku Ketua Departemen Teknik Mesin UI dan dosen-dosen Departemen Teknik Mesin yang telah memberikan saran dan masukannya.
5. Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiharto, M.Eng, selaku Dekan Fakultas Teknik yang tak henti-hentinya membangun dan mengembangkan Fakultas Teknik UI.
6. Refliwanto Alexander Panjaitann sebagai teman skripsi yang selalu mendukung dalam pengerjaan skripsi ini hingga tuntas.
7. Para GROBAK PASIR mania (Gerombolan Orang Batak Pantang di Usir) yang selalu memberi semangat dalam menyusun skripsi ini dan bersenang-senang dalam bermain bola.

8. Eco Sudrajat dan Mikhail Purba partner kerja dalam berinternet dan bersenang-senang.
9. Teguh Santoso teman yang membantu saat diperlukan dalam pengambilan data.
10. Teman perjuangan Mesin 2006, yang telah mendahului saya lulus namun tetap membantu dan member semangat dalam menyelesaikan skripsi ini. (Indah, Ferry, Dimas, Vincent, mike, ricky dan Tegar)
11. Teman Lab lantai 2, yang telah teramat sangat banyak membantu dalam usaha untuk mengerjakan dan memperoleh data yang diperlukan.
12. Seluruh pegawai DTM-UI yang telah membantu pelaksanaan administrasi untuk ijin menggunakan lab, peminjaman buku.

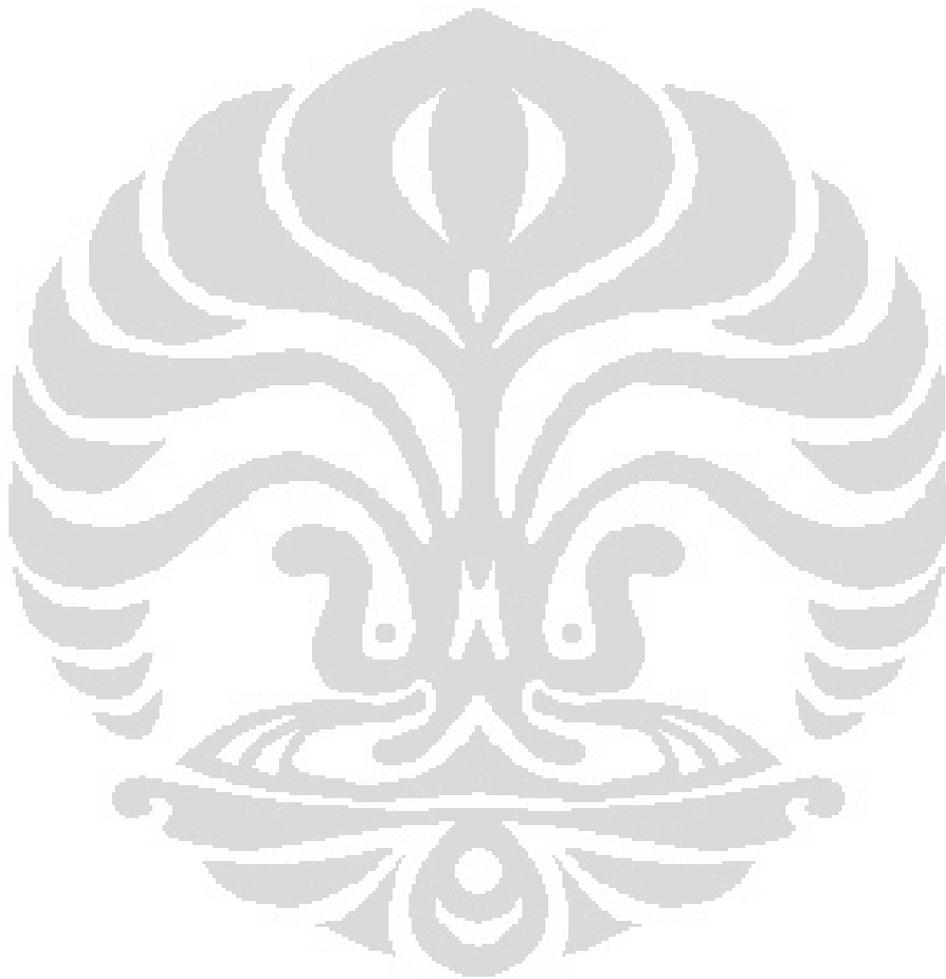
Serta semua pihak yang telah membantu terlaksananya kerja praktek ini baik secara langsung maupun tidak dan yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis sadar bahwa dalam laporan ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, karena itu kami mengharapkan kritik dan saran membangun terkait dengan pembahasan dalam laporan ini. Diharapkan laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak dan juga perkembangan ilmu Teknik Mesin

Terimakasih

Depok, Januari 2012

Ferdy Bastian



## Abstrak

Nama : Ferdy Bastian  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Kajian Eksperimental Kebocoran Gas LPG Pada Tabung Gas Dengan Berbagai Type Katup Pengaman yang Terpasang.

Kebutuhan masyarakat Indonesia akan bahan bakar gas sangat penting sebagai penunjang utama dari kebutuhan rumah tangga. Terutama setelah pemerintah menjalankan program konversi minyak tanah menjadi gas LPG, pada tahun 2007. Program konversi minyak tanah ke gas LPG, dimaksudkan untuk mengurangi ketergantungan masyarakat akan bahan bakar minyak. Pemakaian gas lpg ini merupakan kebijakan yang tepat karena pemakaian gas lebih ramah lingkungan, lebih praktis, dan ketersediaannya lebih terjamin dibanding bahan bakar minyak BBM. Namun, terlepas dari berbagai keuntungan yang diperoleh dari GAS LPG terdapat juga risiko yang sering terjadi diakibatkan karena kelalaian dalam penggunaannya sehingga berakibat terjadinya ledakan tabung gas dan itu sangat mungkin untuk mengakibatkan kematian. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut perlu dicanangkan mengenai penyebab ledakan tabung gas. Berdasarkan studi kasus yang marak terjadi, sebagian penyebab ledakan tersebut adalah kebocoran pada bagian katup tabung dan masalah pada bagian seal. Penelitian ini menggunakan 4 type katup dan 2 jenis seal yang berbeda sebagai objek. Sehingga, secara hipotesa, type katup dan jenis seal memberi pengaruh terhadap tingkat kebocoran pada gas LPG.

**Kata kunci** : *Gas LPG, Katup, Seal, kebocoran*

## ABSTRACT

Name : Ferdy Bastian  
Field of Study : Mechanical Engineering  
Judul : Experimental Study of LPG leakage on LPG Cylinder Through Various Type of Bottle-Valve

The Indonesian society need of fuel gas is so imperative as the main support for requirement of household activity, for instance for cooking and air-conditioning. This case could be more emphasized since the government's policy is about converting kerosene into LPG-tube in 2007. "The converting kerosene to LPG tube" program is planned to reduce people general requirement of kerosene. Actually, LPG tube consumption right is an appropriately right because gas usage is environmentally more friendly, more practical, and more availability than fuel oil. However, apart from the fact that LPG tube brings such advantages, it brings also hazard since careless usage of LPG tube would bring gas explosion and it is a big chance that resulting death. Therefore, advanced research should take place to know the cause of gas explosion, Based on the cases about gas blast which are lately happened, two of the causes of the explosion were a leak at the valve on the tube and complication in seal. The research will use 4 types of valves and 2 different types of seal as the object. So, hypothesizingly, type of valve and type of seal put on influence to leakage rates to LPG tube.

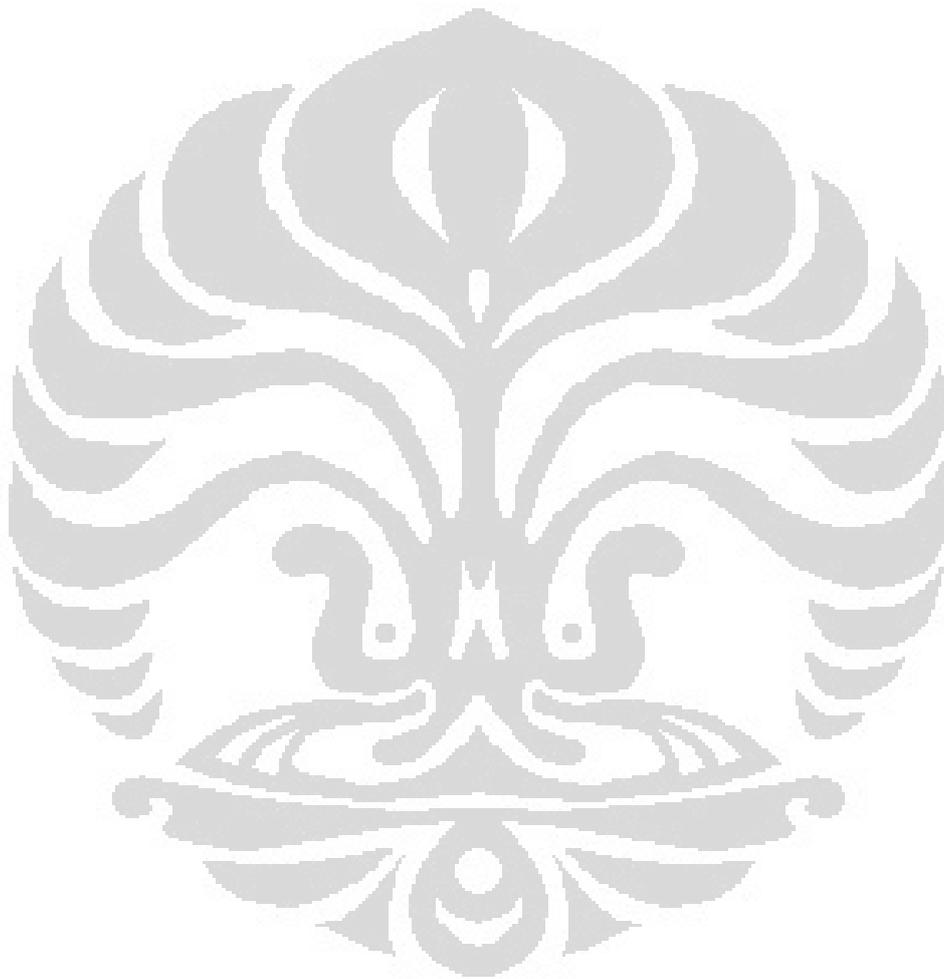
Key word: *LPG gas, Valve, Seal, leak.*

## DAFTAR ISI

|  |             |
|--|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....                                       | <b>i</b>    |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....                     | <b>iii</b>  |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....                                  | <b>iv</b>   |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN</b> .....                      | <b>v</b>    |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                                      | <b>vi</b>   |
| <b>ABSTRAK</b> .....   | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....  | <b>xi</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                                       | <b>xiv</b>  |
| <b>DAFTAR GRAFIK</b> .....                                       | <b>xvi</b>  |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....                                   | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang .....   | 1           |
| 1.2 Perumusan Masalah .....                                      | 3           |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                                       | 4           |
| 1.4 Pembatasan Masalah .....                                     | 4           |
| 1.5 Metodologi Penelitian .....                                  | 4           |
| 1.6 Sistematika Penulisan .....                                  | 5           |
| <b>BAB 2 DASAR TEORI</b> .....                                   | <b>6</b>    |
| 2.1 Liquefied Gases .....  | 6           |
| 2.2 Bahan Bakar Gas .....  | 6           |
| 2.3 Gas Alam ( <i>Natural Gas</i> ) .....                        | 7           |
| 2.4 Gas Buatan .....   | 7           |
| 2.5 LPG (Liquefied Petroleum Gas) .....                          | 8           |
| 2.6 Sifat-sifat Gas ELPIJI .....                                 | 10          |
| 2.6.1 Perubahan fase Gas ELPIJI. ....                            | 10          |
| 2.6.2 Perubahan volume terhadap temperatur .....                 | 11          |
| 2.6.3 Temperatur dan tekanan uap ( <i>vapor pressure</i> ) ..... | 11          |
| 2.7 Komponen LPG .....   | 11          |
| 2.7.1 Butana .....   | 11          |
| 2.7.2 Propana .....  | 12          |
| 2.8 Komposisi Gas Mixture: Fraksi Mol dan Gas.....               | 14          |

|                                      |  |           |
|--------------------------------------|--|-----------|
| 2.9                                  | Faktor kompresibilitas .....   | 14        |
| 2.10                                 | Pseudocritical Properties .....  | 16        |
| 2.11                                 | Pseudoreduced Properties .....   | 16        |
| 2.12                                 | Aturan Kay .....   | 16        |
| 2.13                                 | Persamaan Hall and Yarborough (1973) .....                               | 17        |
| <b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>  |  | <b>19</b> |
| 3.1                                  | PERALATAN PENELITIAN .....   | 19        |
|                                      | 3.1.1 Tabung Gas LPG .....   | 19        |
|                                      | 3.1.2 Weight Scale. ....   | 20        |
|                                      | 3.1.3 Pressure Meter. ....   | 21        |
|                                      | 3.1.4 Pressure Transducer .....  | 22        |
|                                      | 3.1.5 Komputer PC .....  | 22        |
|                                      | 3.1.6 Rubber Seal (Karet Perapat) .....                                  | 23        |
|                                      | 3.1.7 Regulator .....  | 23        |
| 3.2                                  | LANGKAH-LANGKAH PERSIAPAN ALAT .....                                     | 25        |
|                                      | 3.2.1 Pemasangan .....   | 25        |
|                                      | 3.2.2 Pengetesan kebocoran .....   | 26        |
| 3.3                                  | PROSEDUR PERCOBAAN.....  | 26        |
|                                      | 3.3.1 Persiapan Awal Peralatan Uji .....                                 | 26        |
|                                      | 3.3.2 Pengukuran laju kebocoran gas LPG .....                            | 27        |
| 3.4                                  | METODE PENGAMBILAN DATA .....  | 27        |
| 3.5                                  | PENGUKURAN KEBULATAN .....   | 29        |
| <b>BAB IV HASIL DAN ANALISA.....</b> |  | <b>30</b> |
| 4.1                                  | Pengolahan data .....  | 30        |
|                                      | 4.1.1 Contoh pengolahan data ekperimental .....                          | 30        |
|                                      | 4.1.1 Pengolahan data kalkulasi .....                                    | 35        |
| 4.2                                  | ANALISA .....  | 42        |
|                                      | 4.2.1 Analisa grafik seal hitam pada berbagai macam jenis katup .....    | 42        |
|                                      | 4.2.2 Analisa grafik seal merah pada berbagai macam jenis katup .....    | 43        |
|                                      | 4.2.3 Analisa grafik flow rate seal merah untuk berbagai macam katup ..  | 44        |
|                                      | 4.2.4 Analisa grafik flow rate seal hitam untuk berbagai macam katup ... | 45        |
|                                      | 4.2.5 Analisa grafik massa kalkulasi untuk katup jenis W .....           | 46        |

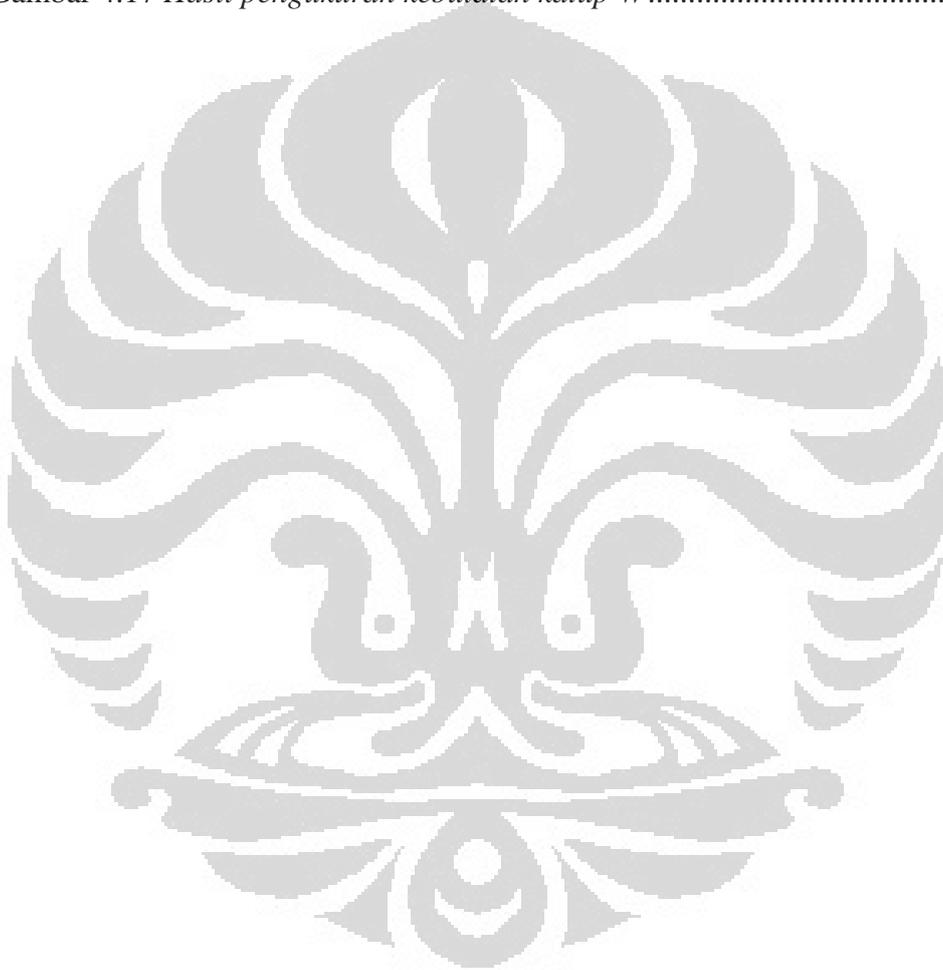
|   |           |
|---|-----------|
| 4.2.6 Hasil Pengukuran Kebulatan Katup..... | 47        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>     | <b>50</b> |
| 5.1 Kesimpulan.....                         | 50        |
| 5.2 Saran.....                              | 51        |
| <b>DAFTAR ACUAN .....</b>                   | <b>52</b> |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                  | <b>54</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                        | <b>55</b> |



## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2.1 <i>Compressibility Chart</i> .....  | 17 |
| Gambar 3.1 <i>Scematik Eksperimen</i> .....  | 19 |
| Gambar 3.2 <i>Bagian-bagian Tabung Gas</i> .....   | 19 |
| Gambar 3.3 <i>Weight Scale</i> .....   | 21 |
| Gambar 3.4 <i>Pressure Meter</i> .....   | 21 |
| Gambar 3.5 <i>Pressure Transducer</i> .....  | 22 |
| Gambar 3.6 <i>Komputer Perekam Penelitian</i> .....  | 22 |
| Gambar 3.7 <i>Dimensi Rubber Seal</i> .....  | 23 |
| Gambar 3.8 <i>Potongan Regulator</i> .....   | 24 |
| Gambar 3.9 <i>Dimensi Regulator</i> .....  | 24 |
| Gambar 3.10 <i>Dimensi Saluran Ke selang</i> .....   | 25 |
| Gambar 3.11 <i>Grafik Plot Kebocoran</i> .....   | 29 |
| Gambar 4.1 <i>Plot Grafik Untuk Katup Jenis W Dengan Seal Hitam</i> .....  | 31 |
| Gambar 4.2 <i>Grafik Hasil Ekstrapolasi Untuk Katup Jenis W Dengan Seal Hitam</i> ....   | 33 |
| Gambar 4.3 <i>Grafik hasil ekstrapolasi untuk katup jenis S dengan seal Hitam</i> .....  | 33 |
| Gambar 4.4 <i>Grafik hasil ekstrapolasi untuk katup jenis M dengan seal Hitam</i> .....  | 34 |
| Gambar 4.5 <i>Grafik hasil ekstrapolasi untuk katup jenis A dengan seal Hitam</i> .....  | 34 |
| Gambar 4.6 <i>Perbandingan grafik antara empat katup berbeda dengan seal hitam</i> ..  | 35 |
| Gambar 4.7 <i>Grafik <math>\Delta</math> massa kalkulasi</i> .....   | 40 |
| Gambar 4.8 <i>Grafik <math>\Delta</math> massa kalkulasi hasil dari ekstrapolasi pada katup W dengan rubber seal merah</i> ..... | 41 |
| Gambar 4.9 <i>Grafik <math>\Delta</math> massa kalkulasi hasil dari ekstrapolasi pada katup W dengan rubber seal hitam</i> ..... | 42 |
| Gambar 4.10 <i>Perbandingan grafik antara katup type A, S, W, dan M untuk jenis seal Hitam</i> .....                             | 42 |
| Gambar 4.11 <i>Perbandingan grafik antara katup type A, S, W, dan M untuk jenis seal Merah</i> .....                             | 43 |
| Gambar 4.12 <i>perbandingan grafik flow rate pada seal merah untuk berbagai macam katup</i> .....                                | 44 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 4.13 <i>perbandingan grafik flow rate pada seal hitam untuk berbagai macam katup</i> .....    | 45 |
| Gambar 4.14 <i>Perbandingan Data kalkulasi dengan eksperimen untuk seal hitam type katup W</i> ..... | 46 |
| Gambar 4.15 <i>Perbandingan Data kalkulasi dengan eksperimen untuk seal merah type katup W</i> ..... | 47 |
| Gambar 4.16 <i>Hasil pengukuran kebulatan katup S</i> .....  | 48 |
| Gambar 4.17 <i>Hasil pengukuran kebulatan katup W</i> .....  | 49 |



## DAFTAR TABLE

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2.1 Properties Butana .....   | 12 |
| Tabel 2.2 Properties Propana .....  | 13 |
| Tabel 3.1 Tabel data percobaan katup M .....                                | 28 |
| Tabel 3.2 Tabel data percobaan katup S .....                                | 28 |
| Tabel 4.1 Contoh perhitungan $\Delta$ massa .....                           | 30 |
| Tabel 4.2 Parameter x dan y untuk plot grafik .....                         | 31 |
| Tabel 4.3 Hasil perhitungan ekstrapolasi .....                              | 32 |
| Tabel 4.4 Data temperatur dan tekanan kritikal gas butana dan propana ..... | 35 |
| Tabel 4.5 Contoh hasil perhitungan data $T_{pr}$ dan $P_{pr}$ .....         | 37 |
| Tabel 4.6 Nilai Z untuk seluruh data .....                                  | 39 |
| Tabel 4.7 Massa kalkulai .....  | 39 |
| Tabel 4.8 $\Delta$ Massa ekstrapolasi.....                                  | 40 |

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### ***1.1 Latar Belakang***

Kebutuhan masyarakat Indonesia akan bahan bakar gas sangat penting yang digunakan sebagai penunjang utama dari kebutuhan rumah tangga. Peningkatan kebutuhan bahan bakar gas meningkat tajam sejak pemerintah menjalankan program konversi minyak tanah menjadi gas lpg, pada tahun 2007[1]. Program konversi ini telah mencakup seluruh daerah Indonesia kecuali untuk daerah Papua, dimana daerah tersebut mempunyai terrain yang cukup terjal sehingga sangat sulit untuk melakukan program konversi tersebut[2]. Program konversi minyak tanah ke gas lpg dimaksudkan untuk mengurangi ketergantungan masyarakat akan bahan bakar minyak. Pemakaian gas lpg merupakan kebijakan yang tepat karena pemakaian gas lebih ramah lingkungan, lebih praktis, dan ketersediaannya lebih terjamin dibanding bahan bakar minyak BBM[3]. Selain itu, dengan program konversi ini, negara dapat menghemat dana subsidi sekitar 25 triliun rupiah dengan jumlah 50 juta rumah tangga yang telah masuk ke dalam program konversi tersebut.

Program konversi minyak tanah ke gas harus didukung dengan pemahaman pemakaian alat penunjang seperti, kompor gas, regulator, dan selang, semua alat penunjang tersebut merupakan satu kesatuan dan tidak dapat dipisahkan. Alat-alat tersebut perlu diperhatikan secara cermat dan teliti, baik dari segi konstruksi dan kelayakannya serta penggunaannya oleh masyarakat umum. Kesalahan dalam konstruksi dan tidak layak nya alat penunjang tersebut dapat mengakibatkan kecelakaan yang fatal. Kecelakaan tersebut berupa ledakan yang disertai dengan sambaran api yang dapat menyebabkan terjadinya korban jiwa. Menurut data dari Pusat Studi Kebijakan Publik (Puskepi) sejak 2008-Juli 2010, telah terjadi 189 kasus ledakan gas, dengan perincian 61 kasus pada 2008, 50 kasus pada 2009 dan 79 kasus pada 2010[4]. Kasus-kasus ledakan tersebut disebabkan beberapa faktor yaitu, dari faktor kelalaian, faktor dari alat penunjang tersebut dan

faktor dari tabung gas yang tidak layak. Untuk faktor kelalaian, hal ini tidak dapat diterima sejumlah kalangan dan masyarakat karena dalam pemakaian sehari-hari masyarakat mampu menggunakannya dengan baik. Tabung gas yang tidak layak juga menjadi penyebab terjadinya ledakan yang diakibatkan kebocoran dari tabung gas tersebut. Disejumlah SPBE Kabupaten Cirebon, terdapat ribuan tabung gas yang rusak, bocor dan berkarat. Kerusakan pada tabung gas tersebut, diakibatkan karena benturan-benturan yang terjadi selama distribusi tabung gas dari SPBE hingga ke konsumen sedangkan kebocoran pada bagian klep dan ulir disebabkan karena tertekan oleh tabung lain sehingga menyebabkan posisinya tergeser[5]. Untuk faktor alat penunjang, Badan Standarisasi Nasional mengatakan bahwa penelitian menunjukkan ledakan gas yang kerap terjadi belakangan ini bukan disebabkan oleh tabungnya yang bermasalah, namun dikarenakan aksesoris dan kompor gas misalnya selang dan *rubber seal* didalam katup, *katup*, *regulator* dan kompor. Untuk memperkuat argumentasinya, pihak Badan Standarisasi pun mengajukan data, bahwa 20 persen *regulator*, 50 persen kompor gas, 66 persen katup tabung, dan 100 persen selang yang diuji tidak memenuhi syarat mutu SNI. Pendapat BSN diperkuat pula oleh penyelidikan Asosiasi Industri Tabung Baja (Asitab), yang menyatakan bahwa sekitar 21 persen dari sedikitnya 48 kasus kebakaran diakibatkan kebocoran pada selang karet tabung gas[6].

Berdasarkan penelitian dari Depnakertrans, tabung gas LPG sudah diteliti dengan menekan tabung dengan berbagai variasi tekanan. Disamping itu pihak Pertamina sudah melakukan berbagai tindakan pengawasan terhadap tabung gas LPG sehingga tidak ada tabung bocor yang beredar. Beberapa kecelakaan yang belakangan marak terjadi bukan disebabkan oleh tabung, melainkan kurangnya kualitas asesoris yang terdapat pada tabung gas LPG. Disamping itu Dirjen Minyak dan Gas, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM meminta kepada masyarakat untuk lebih mawas diri terhadap pentingnya menjaga keselamatan penggunaan elpiji. Selain menjaga keselamatan, masyarakat perlu juga memperhatikan kondisi aksesoris produk konversi elpiji seperti selang, katup, regulator, rubber seal

dan kompor karena produk-produk seperti itu memiliki jangka waktu tertentu[7][8].

Beberapa penyebab terjadinya ledakan gas telah disebutkan bahwa sebagian besar alat-alat penunjang menyumbang terjadinya kebocoran yang dapat mengakibatkan ledakan. Kondisi dan kelayakan alat penunjang tersebut perlu diperhatikan dari segi umur dan kualitasnya. Kondisi dan kualitas dari alat penunjang dijelaskan dalam Standar Nasional Indonesia, dimana alat-alat penunjang tersebut dijelaskan struktur, dimensi, bahan material, dan uji-uji yang dipakai untuk dilakukan pengetesan terhadap alat tersebut. Alat-alat penunjang yang dijelaskan dalam Standar Nasional Indonesia adalah *rubber seal* (karet perapat), *katup*, *regulator*, selang, dan tabung gas tersebut.

Dari sejumlah alat penunjang yang disebutkan diatas, alat penunjang yang paling diprotes adalah penggunaan *rubber seal*. Menurut BPPT ketika kualitas *rubber seal* kurang maka akan terjadi kebocoran antara *regulator* dan *rubber seal*. Karena tekanan gas di dalam tabung cukup besar yaitu sekitar 7 bar, maka akibat kebocoran tersebut gas yang keluar sangat banyak[9]. Hal ini juga diperjelas dari Direktur Pemasaran dan Niaga Pertamina, bahwa masalah *rubber seal* ini sering dikeluhkan masyarakat karena sering mengakibatkan kebocoran dalam penggunaan LPG, kalau ini terjadi maka kemungkinan besar ledakan akan terjadi[10].

## ***1.2 Perumusan Masalah***

Tugas akhir ini akan mencoba mengetahui bagaimana terjadinya kebocoran yang menyebabkan terjadinya ledakan. Dalam kehidupan sehari-hari terjadinya kebocoran dapat terjadi di bagian selang, katup dengan cincin leher katup, karet seal yang terdapat didalam katup tabung, regulator, dan selang. Namun dalam penelitian yang kami buat, pengukuran kebocoran lebih di utamakan pada bagian seal yang terdapat di dalam katup tabung.

Percobaan akan difokuskan pada tabung gas LPG yang biasa digunakan dalam kehidupan masyarakat.

### ***1.3 Tujuan Penelitian***

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui laju kebocoran dari tabung gas LPG yang difariasikan pada jenis katup dari tabung tersebut dan karet pengaman yang terpasang pada katup. Type katup yang akan dianalisis ada 4 type dan 2 jenis karet pengaman yang akan dianalisis. Penelitian ini dilakukan dengan cara mengukur penurunan massa dan tekanan tabung gas yang di ukur setiap lima menit selama 150 menit.

### ***1.4 Pembatasan Masalah***

Agar bahasan penelitian ini tidak menjadi luas dan terarah demi tercapainya tujuan penelitian, maka perlu diberikan batasan. Adapun batasan-batasannya adalah sebagai berikut:

1. Membahas mengenai penyebab kebocoran pada tabung gas dalam kehidupan sehari-hari
2. Membahas bagian tabung gas yang kemungkinan mengalami kebocoran.
3. Menentukan bagian keret seal, sebagai penyebab terjadinya kebocoran
4. Memilih katup yang akan digunakan dalam percobaan.

### ***1.5 Metodologi Penelitian***

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Tahap perumusan masalah, yaitu mencari variabel-variabel yang berpengaruh dalam percobaan, sekaligus referensi yang berkaitan.
2. Tahap kegiatan, yaitu merancang proses penelitian, melakukan pengujian alat, kalibrasi, dan melakukan percobaan-percobaan dan pengamatan.
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 hasil penelitian yang didasarkan pada rumusan dan teori yang telah ada di berbagai literatur, dan selanjutnya menyajikan dalam bentuk karya tulis skripsi.

## ***1.6 Sistematika Penulisan***

Penyusunan laporan tugas akhir agar memiliki struktur yang baik dan tujuan penulisan dapat tercapai dengan baik maka penulisan tugas akhir akan mengikuti sistematika sebagai berikut :

- **BAB 1 PENDAHULUAN**

Berisi latar belakang sebagai dasar penelitian dilakukan, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

- **BAB 2 DASAR TEORI**

Berisi landasan teori umum yang digunakan untuk menjelaskan masalah yang dibahas.

- **BAB 3 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA**

Berisi tentang proses dan alur pengambilan data kebocoran tabung gas.

- **BAB 4 HASIL dan ANALISIS**

Berisi tentang data yang didapat dari hasil percobaan berdasarkan prosedur untuk melihat hasil kebocoran beserta grafik yang di buat .

- **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk penelitian sejenis di masa mendatang.

## **BAB 2**

### **DASAR TEORI**

#### ***2.1 Liquefied Gases***

Liquefied gas adalah gas yang dapat menjadi fase cair didalam storage tank dengan temperatur yang mendekati temperatur atmosfer yaitu dengan jangkauan sekitar -130F hingga 30oF (-90°C hingga -3.9 atau 1.1°C). Propana dan Butana adalah salah satu contoh dari liquefied gas[11].

#### ***2.2 Bahan Bakar Gas***

Ditinjau dari sudut teknis dan ekonomis, bahan bakar diartikan sebagai bahan yang apabila dibakar (dipanaskan sampai mencapai temperatur yang memungkinkan terjadinya reaksi kimia dengan oksidator) dapat meneruskan proses pembakaran tersebut dengan sendirinya, disertai dengan penegeluaran kalor. Bahan bakar dibakar dengan tujuan untuk memperoleh kalor tersebut, untuk digunakan baik secara langsung maupun tak langsung.

Bahan bakar konvensional, ditinjau dari keadaannya dan wujudnya dapat padat, cair atau gas, sedang ditinjau dari cara terjadinya dapat alamiah dan non alamiah atau buatan atau “*manufactured*”. Termasuk bahan bakar padat alamiah ialah: antrasit, batubara bitumen, lignit, kayu api, sisa tumbuhan. Termasuk bahan bakar padat non alamiah antara lain: kokas, semi kokas, arang, briket, bris, serta bahan bakar nuklir. Bahan bakar cair non-alamiah antara lain: bensin gasoline, kerosin atau minyak tanah, minyak solar, minyak residu, dan juga bahan bakar padat yang diproses menjadi bahan bakar cair seperti minyak resin dan bahan bakar sintetis. Bahan bakar gas alamiah misalnya: gas alam, dan gas petroleum, sedang bahan bakar gas non alamiah misalnya gas rengkah (atau cracking gas) dan “*producer gas*”.

Bahan bakar fosil dan bahan bakar organik lainnya umumnya tersusun dari unsur-unsur C (karbon), H (hydrogen), O (oksigen), N (nitrogen), S (belerang), P (fosfor) dan unsure-unsur lainnya dalam jumlah kecil, namun unsur-unsur kimia yang

penting adalah C, H, S, yaitu unsur-unsur yang jika terbakar menghasilkan kalor, dan disebut sebagai “bahan bakar yang dapat terbakar” atau “*combustible matter*”, disingkat dengan BDT. Unsur-unsur lain yang terkandung dalam bahan bakar namun tidak dapat terbakar adalah O, N, bahan mineral atau abu dan air. Komponen-komponen ini disebut sebagai “bahan yang tidak dapat terbakar” atau “*non-combustible matter*”, disingkat dengan non-BDT.

Bahan bakar gas, jika tersedia merupakan bahan bakar yang ideal untuk digunakan pada berbagai keperluan pembakaran karena kemudahan dalam penanganannya, kandungan residu padat dapat diabaikan dan rendahnya kebutuhan udara lebih (*excess air*) sehingga dapat diperoleh efisiensi pemanfaatan yang tinggi.

### **2.3 Gas Alam (Natural Gas)**

Bahan bakar gas dapat diklasifikasikan atas gas alam (*natural gas*) maupun gas buatan (*manufactured gas*). Biasanya gas alam dijumpai pada deposit minyak dan batubara. Gas alam sebagian besar merupakan campuran dari senyawa hidrokarbon dengan sedikit jumlah materi nonhidrokarbon yang berfase gas. Sebagian bahan bakar, gas alam sangat ideal karena umumnya bebas dari kandungan gas tidak terbakar atau residu padat. Pada saat dibakar umumnya menghasilkan nyala berwarna biru dan sangat mudah terbakar jika tercampur udara pada komposisi yang tepat.

Komposisi kimia gas alam sebagian besar terdiri dari metana ( $\text{CH}_4$ ) dan sejumlah yang lebih sedikit etana ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), propana ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), butana ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), serta pentana ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ). Kadang-kadang terkandung juga sulfur, namun jumlahnya dapat diabaikan. Karbondioksida dan nitrogen merupakan komponen tak terbakar yang sering terdapat dalam gas alam dalam jumlah sangat kecil [12]

### **2.4 Gas Buatan**

Bahan bakar gas buatan banyak diproduksi melalui proses gasifikasi atau karbonisasi bahan bakar padat (terutama batubara), dan beberapa proses lainnya. Kadang-kadang gas-gas ini diberi perlakuan tertentu untuk meningkatkan nilai kalornya. Jenis-jenis bahan bakar gas buatan meliputi *Liquefied Petroleum Gas*

(LPG), *refinery oil gas*, *producer gas*, *water gas*, *blast furnace gas*, *wood gas*, *peat gas*, *coal gas*, *coke oven gas*, dan *bio gas*.

LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) yang populer di Indonesia dengan nama Elpiji didapat dari proses pengolahan gas alam atau dari minyak mentah (*Crude Oil*). Dari gas alam selain dihasilkan LNG juga didapat LPG, sedangkan dari pengolahan minyak mentah sebagian besar produk ringan dapat menghasilkan LPG dengan proses fraksional, *nafta reforming*, *thermal/catalytic cracking*. Untuk lebih jelasnya mengenai LPG akan dijelaskan pada bagian selanjutnya.

### **2.5 LPG (*Liquefied Petroleum Gas*)**

ELPIJI merupakan merk dagang dari LPG atau *Liquefied Petroleum Gas*. Merupakan campuran dari berbagai hydrocarbon, 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 persediaannya. LPG merupakan senyawa hidrokarbon yang dikenal sebagai Butana, Propana, Isobutana atau campuran antara Butana dengan Propana. Secara umum LPG bersifat :

- Berat jenis gas ELPIJI lebih besar dari udara, yaitu :
  - Butana mempunyai berat jenis dua kali berat jenis udara.
  - Propana mempunyai berat jenis satu setengah kali berat udara.
- 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, ELPIJI 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 ELPIJI cair dapat berubah menjadi kurang lebih 500 liter gas ELPIJI.

Sebagai sumber energi (bahan bakar), digunakan oleh rumah tangga untuk memasak, penerangan, water heater, gas stoves, rice cookers, setrika, dan sebagainya. Secara umum, ELPIJI digunakan oleh restoran, rumah makan, rumah sakit, laboratorium. Industri yang menggunakan ELPIJI sebagai bahan bakar adalah pabrik-pabrik, penyulingan, perusahaan keramik, dok perkapalan, bengkel dan sebagainya. Selain digunakan sebagai bahan bakar, gas ELPIJI 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.
- Sebagai bahan baku.

Bahan bakar gas cair ELPIJI mempunyai ciri khas sebagai berikut :

- 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

Untuk mengetahui kebocoran pada tabung gas, bahan bakar ini diberikan aroma khusus (gas MERCAPTANE) 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 ELPIJI berpemantik api otomatis, sehingga tidak perlu menyediakan korek api setiap hari.

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

## ***2.6 Sifat-sifat Gas ELPIJI***

### **2.6.1 Perubahan fase Gas ELPIJI.**

ELPIJI merupakan campuran dari beberapa gas natural yang mudah dapat berubah fase menjadi liquid dan gas kembali. Untuk berubah fase menjadi cair sebuah zat (gas natural) harus dikondisikan pada temperatur 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 temperatur 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 ELPIJI dapat disimpan dalam *storage tank* (bejana tangguh).

### **2.6.2 Perubahan volume terhadap temperatur**

ELPIJI baik dalam fase cair maupun gas, akan memuai jika terkena panas, dan menyusut jika didinginkan. Pada saat memuai volume ELPIJI akan bertambah dan

berkurang jika didinginkan. Oleh karena pengaruh temperatur yang sangat besar, volume ELPIJI dapat menyusut sebesar 1% dengan perubahan temperatur 6 F (-14.4°C).

### **2.6.3 Temperatur dan tekanan uap (*vapor pressure*)**

Untuk menjaga ELPIJI tetap dalam fase cairnya, ELPIJI harus dikondisikan dalam temperatur dan tekanan tertentu. Hal ini telah dijelaskan sebelumnya dalam perubahan fase. Jika temperatur propane dinaikan, maka tekanan yang dibutuhkan untuk menjaga propane dalam fase cair harus dinaikan juga, hal yang sama juga berlaku untuk gas natural butana.

## **2.7 Komponen LPG**

Komponen utama pengisi LPG adalah senyawa hidrokarbon Propana ( $C_3H_8$ ) dan Butana ( $C_4H_{10}$ ) dengan komposisi 30% Propana dan 70% Butana, Namun ada di beberapa Negara komposisi LPG berbeda yaitu 50% Propana dan 50% Butana. Komposisi 30% propana dan 70% Butana merupakan komposisi yang biasa digunakan dalam rumah tangga dan merupakan komposisi paling aman.

### **2.7.1 Butana**

Butana, yang sering juga disebut n-butana, adalah alkane yang memiliki empat atom Karbon ( $CH_3 - CH - CH - CH_3$ ). 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

| Properties 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 ( $15^\circ\text{C}$ , 1 atm)           |
|                          | $600 \text{ kg/m}^3$ , Liquid ( $0^\circ\text{C}$ , 1 atm)          |
| Kalor spesifik ( $C_p$ ) | $1.7164 \text{ kJ/kg.K}$ , gas ( $15^\circ\text{C}$ , 1 atm)        |
|                          | $2.31 \text{ kJ/kg.K}$ , Liquid ( $0^\circ\text{C}$ , 1 atm)        |
| $C_v$                    | $1.5734 \text{ kJ/kg.K}$  |
| M                        | $6.8\text{E-}06 \text{ Pa.s}$ , liquid ( $0^\circ\text{C}$ , 1 atm) |
|                          | $8.4\text{E-}06 \text{ Pa.s}$ , Gas ( $15^\circ\text{C}$ , 1atm)    |
| k                        | 1.091   |
| R                        | $0.1433 \text{ kJ/kg.K}$  |
| Volume                   | $0.2547 \text{ m}^3/\text{kmol}$                                    |
| Melting Point            | $-138.4^\circ\text{C}$ ( $135.4 \text{ K}$ )                        |
| Boiling Point            | $-0.5^\circ\text{C}$ ( $272.6 \text{ K}$ )                          |

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

### 2.7.2 Propana

Propana merupakan hidrokarbon alkana berkarbon tiga. Wujud umumnya adalah gas, namun dapat dikompresi sampai menjadi bentuk cair untuk kemudahan transportasi. Propana diturunkan dari minyak jenis lain melalui proses distilasi minyak mentah maupun dari gas alam (*natural gas*). Untuk keperluan komersial gas propane dicampur dengan gas lainnya seperti *propylene*, *butane*, dan *12utane1212* untuk mendapatkan produk baru seperti pada gas LPG.

Tidak seperti gas alam, propane lebih berat atau memiliki densitas lebih

besar dari udara. Pada kondisi 13utane1313 an bebas, 13utane13, cenderung untuk jatuh akibat gravitasi karena beratnya. Propana cair akan berubah menjadi uap pada tekanan atmosfer dan berwujud putih karena pengembunan dari udara.

Propana bisa digunakan sebagai bahan bakar industry, bahan bakar kendaraan, dan sebagai refrigerant pada 13utane refrigerasi. Beberapa karakteristik dari 13utane terdapat di table berikut

Tabel 2.2 Properties Propana

| Properties Propana       |  |
|--------------------------|--|
| Molecular Formula        | $C_3H_8$   |
| Molar Mass               | $44.1 \text{ g mol}^{-1}$  |
| Appearance               | Colorless gas  |
| Density                  | $2.0098 \text{ kg/m}^3$ , gas ( $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , 1 atm)         |
|                          | $581.2 \text{ kg/m}^3$ , liquid ( $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , 1 atm)        |
| Kalor Spesifik ( $C_p$ ) | $1.6794 \text{ kJ/kg.K}$ , gas ( $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , 1 atm)        |
|                          | $2.25 \text{ kJ/kg.K}$ , liquid ( $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , 1 atm)        |
| $C_v$                    | $1.4909 \text{ kJ/kg.K}$   |
| M                        | $8\text{E-}06 \text{ Pa.s}$ , Liquid( $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , 1 atm)    |
|                          | $8.029\text{E-}06 \text{ Pa.s}$ , Gas ( $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , 1 atm) |
| k                        | 1.126  |
| R                        | $0.1885 \text{ kJ/kg.K}$   |
| Volume                   | $0.1998 \text{ m}^3/\text{kmol}$   |
| Melting Point            | $-187.7 \text{ }^\circ\text{C}$  |
| Boiling Point            | $-42.1 \text{ }^\circ\text{C}$   |

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

## 2.8 Komposisi Gas Mixture: Fraksi Mol dan Gas.

Untuk menetapkan properties atau sifat dari gas mixture, terlebih dahulu menentukan komposisi dari gas mixture serta sifat dari masing-masing komponen gas mixture. Ada dua cara dalam menggambarkan komposisi dari sebuah gas mixture

yaitu dengan menspesifikasikan jumlah mol dari masing-masing penyusun gas tersebut disebut dengan molar analysis atau dengan menspesifikasikan massa dari masing-masing komponen penyusun gas mixture disebut dengan gravimetric analysis. Dengan pemahaman bahwa sebuah gas mixture disusun dari k komponen. Massa dari mixture  $m_m$  adalah jumlah massa dari masing-masing komponen dan jumlah mol dari mixture  $N_m$  adalah jumlah mol dari masing-masing komponen.

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

Rasio dari massa komponen dari massa mixture adalah fraksi massa dan rasio mol dari mol komponen terhadap jumlah mol mixture adalah fraksi mol.

$$m_{fi} = \frac{m_i}{m_m} \quad \text{dan} \quad y_i = \frac{N_i}{N_m}$$

## 2.9 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 temperatur 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

$$Z = \frac{V_{\text{actual}}}{V_{\text{ideal}}}$$

Faktor Z dapat diekspresikan didalam gas ideal untuk gas riil

$$PV_m = RT$$

Dan koreksi dari gas ideal untuk ketidakidealan didefinisikan sebagai berikut,

$$PV_m = ZRT$$

Sehingga

$$Z = \frac{PV_m}{RT}$$

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 temperatur 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.

### ***2.10 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 temperatur pseudocritical dapat diekspresikan sebagai berikut,

$$P_{pc} = \sum_{i=1}^{Nc} y_i P_{ci}$$

$$T_{pc} = \sum_{i=1}^{Nc} y_i T_{ci}$$

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

### 2.11 Pseudoreduced Properties

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

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

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

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

### 2.12 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 kritikal komponen gas campur    |

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

Dengan didapatnya tekanan dan temperatur kritikal dari gas campur maka nilai faktor kompresibilitas  $Z$  dapat ditetapkan dari grafik dengan menggunakan persamaan pseudoreduced.

(Sumber: *Engineering Thermodynamics*)

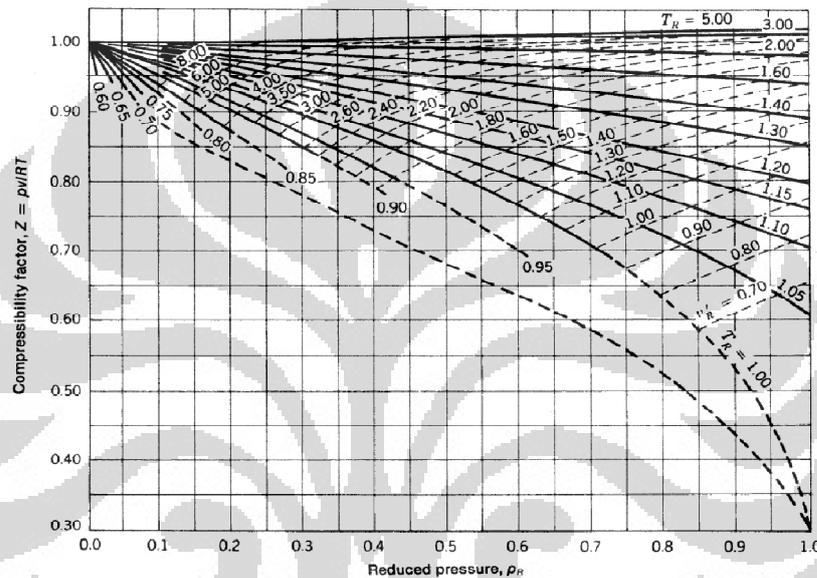


Figure A-1 Generalized compressibility chart,  $p_R \leq 1.0$ . Source: E. F. Obert, *Concepts of Thermodynamics*, McGraw-Hill, New York, 1960.

Gambar 2.1 Compressibility Chart

### 2.13 Persamaan Hall and Yarborough (1973)

Persamaan Hall and Yarborough digunakan untuk menemukan faktor kompresibilitas  $Z$ . Persamaan ini menggunakan parameter  $P_{pr}$  dan  $T_{pr}$  sebagai masukan dari persamaan ini. Berikut adalah persamaan Hall dan Yarborough (1973),

$$t = \frac{1}{T_{pr}}$$

$$A = 0.06125 \times t \times e^{-1.2(1-t)^2}$$

$$B = t(14.76 - (9.76 \times t) + 4.58t^2)$$

$$C = t(90.7 - (242.2 \times t) + 42.4t^2)$$

$$D = 2.18 + 2.82 \times t$$

$$f(Y) = \frac{Y + Y^2 + Y^3 - Y^4}{(1 - Y)^3} - A \times Ppr - BY^2 + CY^D = 0$$

$$Z = \frac{A \times Ppr}{Y}$$

(Sumber: *Natural Gas Engineering: Dr. Boyun Guo and Dr. Ali Ghalambor*)



## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 PERALATAN PENELITIAN

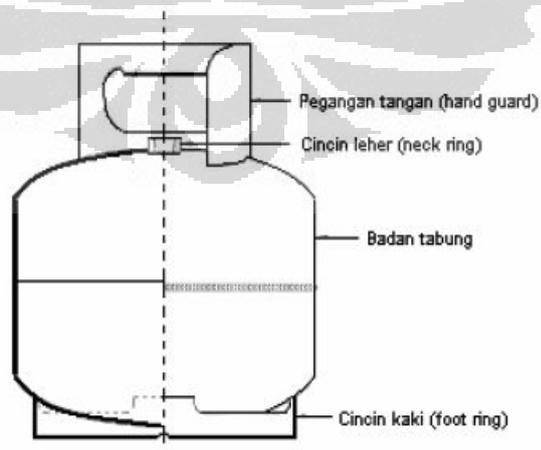
Peralatan penelitian yang digunakan untuk penelitian ini terdiri dari tabung gas LPG, pressure meter, weight scale, dan computer. Skema pengambilan data dapat dilihat sebagai berikut,



Gambar 3.1 Scematik Eksperimen

##### 3.1.1 Tabung Gas LPG .

Salah satu alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah tabung gas LPG. Tabung gas ini berfungsi sebagai media penyimpanan gas LPG.



Gambar 3.2 Bagian-bagian Tabung Gas

Tebal dinding tabung diperoleh dari perhitungan berdasarkan rumus (AS 2469-1998) sebagai berikut:

$$tebal = 2.5 \left( \frac{D_i}{R_m} \right)^{1/2} \quad \text{dan} \quad tebal = \left( \frac{P_h \times D_o}{2f + P_h} \right)$$

$$tebal \text{ minimum} = t + CA$$

Dengan

- t adalah tebal minimum badan tabung (mm), diambil nilai terbesar hasil perhitungan dari rumus 1 dan 2
- $D_i$  adalah diameter dalam tabung (mm)
- $D_o$  adalah diameter dalam tabung (mm)
- $P_h$  adalah tekanan uji (MPa)
- f adalah tegangan maksimal yang dibolehkan (permissible stress), diambil dari nilai Yield Strength material tabung yang digunakan, bila nilai f dari yield strength lebih besar dari 60% nilai Tensile Strength ( $R_m$ ), maka nilai f yang dipergunakan adalah 60%  $R_m$ ;
- $R_m$  adalah kuat tarik minimum (MPa);
- CA adalah Corrosion Allowance sebesar 0.01 mm pertahun dengan perhitungan umur pakai 5 tahun

Setiap tabung gas mempunyai valve dengan berbagai vendor yang berbeda, dalam penelitian ini dipilih tabung gas dengan valve dari vendor MTU, SCG, ABP, dan WMK. Valve tersebut telah memenuhi kondisi yang ditetapkan oleh SNI.

### 3.1.2 Weight Scale.

Weight scale digunakan untuk mengetahui massa yang berkurang setiap 5 menit dalam penelitian yang berlangsung. Weight scale yang digunakan memakai satuan gram dengan menggunakan empat angka penting.

Merk : D-Scale

Type Weight Scale : JCS-A 15K

Capacity : 15 kg

Ketelitian : 0.5 g



Gambar 3.3 Weight Scale

### 3.1.3 Pressure Meter.

Pressure meter digunakan untuk mengukur tekanan dalam gas LPG dalam sistem penelitian. Pressure meter yang digunakan memakai satuan bar.

Merk : LT Lutron PS-9302

Ketelitian : 0.02 bar

Max Tekanan : 20 bar



Gambar 3.4 Pressure Meter

### 3.1.4 Pressure Transducer

Pressure transducer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur tekanan. Cara kerja pressure transducer, mengubah arus yang diterima pressure transducer menjadi tekanan, yang kemudian diubah menjadi bentuk digital ke pressure meter.

Spesifikasi pressure transducer:

Merk : LT Lutron

Tekanan Max : 20 bar



Gambar 3.5 Pressure Transducer

### 3.1.5 Komputer PC

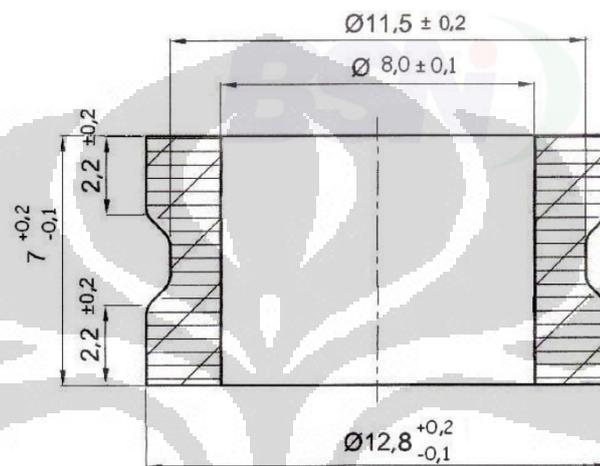
Komputer dapat digunakan untuk mengumpulkan dan merekam jejak data selama penelitian berlangsung dan data yang bisa di rekam cukup banyak. Saat pengambilan data dapat ditinggal tanpa di pantau selama penelitian.



Gambar 3.6 Komputer Perekam Penelitian

### 3.1.6 Rubber Seal (Karet Perapat)

Rubber seal atau karet perapat adalah karet yang diletakan didalam valve untuk mencegah terjadinya kebocoran ketika regulator dihubungkan dengan valve pada saat pemakaian atau pengisian.



Gambar 3.7 Dimensi Rubber Seal (satuan mm)

Tinggi =  $7^{+0.2}_{-0.1}$  mm

Diameter luar =  $12.8^{+0.2}_{-0.1}$  mm

Diameter pinggang =  $11.5 \pm 0.2$  mm      Diameter dalam =  $8.0^{+0.1}_{-0.1}$  mm

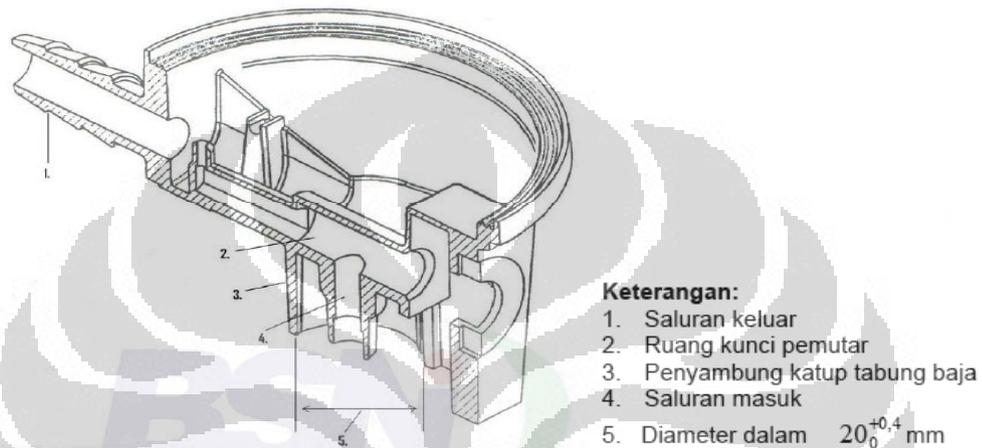
Tinggi sebelum atau sesudah pinggang =  $2.2 \pm 0.2$  mm

Rubber seal yang ada dipasaran terbuat dari material karet alam, NBR, dan karet vulkanisat. Untuk penelitian rubber seal yang digunakan terbuat dari material NBR.

### 3.1.7 Regulator

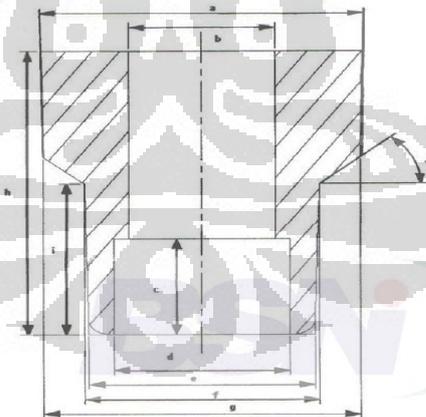
Regulator adalah alat yang berfungsi untuk menghubungkan antara selang dan katup tabung gas. Regulator yang dipakai adalah regulator yang bertekanan rendah. Namun dalam pengambilan data skripsi, Regulator dibongkar yang gunanya untuk mendapatkan tekanan sesuai dalam tabung yaitu sebesar 6 bar lebih. Bagian yang di bongkar adalah bagian 23membrane yang fungsinya sebelum dibongkar yaitu

mencegah keluarnya tekanan dari regulator tinggi selain itu fungsi membrane mencegah terjadinya bleve (keluarnya fase cair dan gas bersamaan ke dalam burner). Sistem yang digunakan dalam regulator ini adalah system pengancing (clip-on system) dimana jarum regulator akan mendorong jarum katup tabung gas kedalam lalu menguncinya sehingga gas LPG dalam tabung keluar.



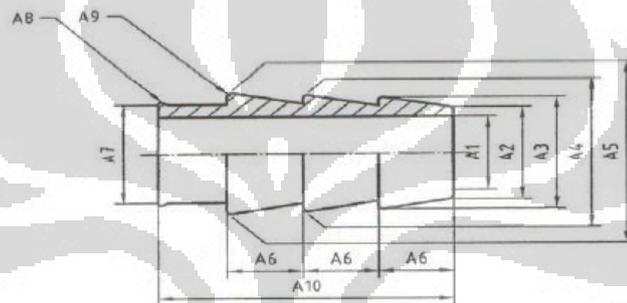
Gambar 3.8 Potongan Regulator

Berikut adalah dimensi untuk regulator yang digunakan,



Gambar 3.9 Dimensi Regulator

| 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 3.10 Dimensi Saluran Ke selang

| No | Uraian  | Nilai (mm)     |
|----|---|----------------|
| 1  | Diameter dalam uliran saluran ke selang (A1)  | $7,5 \pm 0,1$  |
| 2  | Diameter luar uliran ke-1 (A2)                | $10,0 \pm 0,1$ |
| 3  | Diameter luar uliran ke-2 (A3)                | $12,5 \pm 0,1$ |
| 4  | Diameter luar uliran ke-3 (A4)                | $13,0 \pm 0,1$ |
| 5  | Diameter luar uliran ke-4 (A5)                | $13,5 \pm 0,1$ |
| 6  | Jarak uliran (A6)                             | 6,5            |
| 7  | Diameter luar uliran saluran dalam (A7)       | 11,0 – 11,5    |
| 8  | Jarak pipih ( <i>Ronness/kebulatan</i> ) (A8) | 1,0 – 1,5      |
| 9  | Jarak pipih uliran (A9)                       | 0,3 – 0,5      |
| 10 | Jarak uliran ke-1 dengan uliran ke-4 (A10)    | 4 x 6,5        |

## 3.2 LANGKAH-LANGKAH PERSIAPAN ALAT

### 3.2.1 Pemasangan

Dalam pemasangan alat untuk mengukur kebocoran tabung gas diperlukan ketelitian agar data yang didapat tidak melenceng atau terjadi kesalahan pada saat

mengukur. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menginstal penelitian ini yaitu :

- a. Pemilihan pressure meter, pressure meter yang terdapat pada lab memiliki 2 type yaitu type dengan tekanan maksimal 2 bar dan 20 bar oleh karena itu dalam penelitian kami gunakan type 20 bar.
- b. Pemasangan selang pada penelitian ini harus sangat kuat, dan selang yang digunakan adalah selang kompresor yang mampu menahan tekanan lebih dari 10 bar.
- c. Pemasangan klep pengencang, yang fungsinya untuk menguatkan selang agar tidak lepas karena tekanan dari gas LPG.

### **3.2.2 Pengetesan kebocoran**

Dalam penelitian kebocoran tabung gas ini, peneliti mengetahui kebocoran tabung gas pada karet seal yang terdapat dalam katup, Sehingga untuk menghindari terjadinya kebocoran dari bagian lain peneliti memeriksa setiap bagian yang tidak diinginkan terjadinya kebocoran. Untuk memeriksa bagian tersebut digunakan busa sabun. Ciri-ciri terjadinya kebocoran yaitu busa sabun akan mengembang membentuk balon.

## **3.3 PROSEDUR PERCOBAAN**

### **3.3.1 Persiapan Awal Peralatan Uji**

1. Mempersiapkan peralatan yang akan diperlukan dalam melakukan pengujian seperti tabung gas dengan 4 katup berbeda, *Regulator*, Selang, *Pressure meter*, *Pressure transducer*, karet tabung gas warna merah dan hitam.
2. Membongkar membran regulator yang fungsinya untuk mendapatkan tekanan yang sama dengan tekanan tabung.
3. Memastikan tidak adanya kebocoran pada selang gas, atau penghubung antara pressure transducer dengan fitting.
4. Mengencangkan klep selang.

### 3.3.2 Pengukuran laju kebocoran gas LPG

1. Memasang karet pengaman ke dalam katup tabung.
2. Memasang *pressure transducer* ke *fitting*
3. Mengaitkan *Regulator* pada katup tabung gas hingga kencang sehingga gas mengalir dalam selang.
4. Memeriksa kebocoran pada selang dengan menggunakan busa sabun, jika terjadi kebocoran maka harus mengencangkan kembali klep selang.
5. Memasang kabel pengukur *pressure transducer* ke *pressure meter*.
6. Meletakkan tabung gas ke atas timbangan kemudian mengukur/mengambil data tekanan dan massa setiap 5 menit selama 150 menit.
7. Mengulangi langkah 1 sampai 6 untuk karet dan katup lainnya.

### 3.4 METODE PENGAMBILAN DATA

Pengambilan data selama penelitian dilakukan secara manual yaitu dengan merekam jejak data secara langsung. Parameter yang direkam jejak selama penelitian adalah massa dan tekanan. Parameter massa digunakan untuk mengetahui massa gas LPG yang lolos (bocor) dari sambungan regulator-karet-katup tabung gas. Parameter tekanan digunakan untuk mengetahui tekanan selama penelitian dan juga digunakan untuk perhitungan data yaitu untuk mencari nilai faktor kompresibilitas  $z$ . Variasi yang diukur pada pengambilan data ini yaitu karet seal merah dan karet seal hitam yang dipasangkan pada 4 katup tabung gas secara bergantian selama 150 menit.

Setiap data-data yang diambil setiap percobaan di masukkan dalam table, dengan format sebagai berikut:

Tabel 3.1 Tabel data percobaan katup M

| DATA SHEET |                         |          |                    |                                 |
|------------|-------------------------|----------|--------------------|---------------------------------|
|            | T =                     |          | Valve = M          | 8-Jul-11<br>12-Jul-11           |
| Po =       | Mo =                    |          | Data collector     | Ferdy Bastian<br>Refliwanto A P |
|            | $\Delta$ Pressure (bar) |          | $\Delta$ Massa (g) |                                 |
| Time       | Black seal              | Red seal | Black seal         | Red seal                        |
| 0          |                         |          |                    |                                 |
| .          |                         |          |                    |                                 |
| .          |                         |          |                    |                                 |
| 150        |                         |          |                    |                                 |

Tabel 3.2 Tabel data percobaan katup S

| DATA SHEET |                          |          |                     |                                 |
|------------|--------------------------|----------|---------------------|---------------------------------|
|            | T =                      |          | Valve = S           | 8-Jul-11<br>12-Jul-11           |
| Po =       | Mo =                     |          | Data collector      | Ferdy Bastian<br>Refliwanto A P |
|            | $\Delta$ Pressure (mbar) |          | $\Delta$ Massa (kg) |                                 |
| Time       | Black seal               | Red seal | Black seal          | Red seal                        |
| 0          |                          |          |                     |                                 |
| .          |                          |          |                     |                                 |
| .          |                          |          |                     |                                 |
| 150        |                          |          |                     |                                 |

Untuk nilai  $\Delta$  m atau massa yang hilang dapat menggunakan pengolahan data sebagai berikut

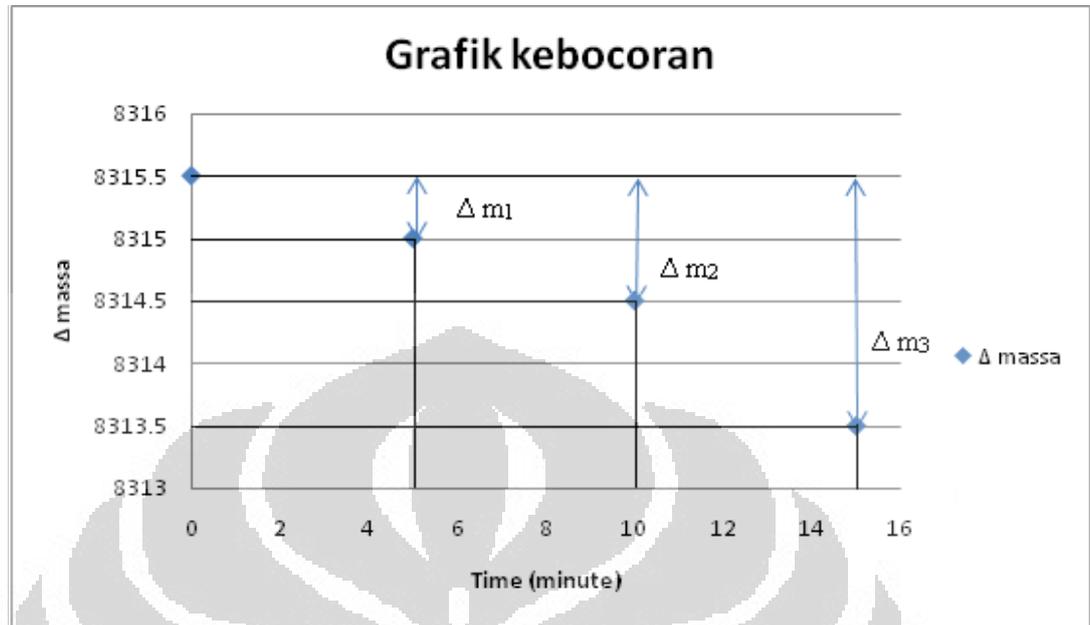
$$\Delta m_1 = \text{massa kebocoran total 1} = m_0 - m_1$$

$$\Delta m_2 = \text{massa kebocoran total 2} = m_0 - m_2$$

$$\Delta m_3 = \text{massa kebocoran total 3} = m_0 - m_3$$

dst

Dimana massa kebocoran total ( $\Delta m$ ) dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 3.11 Grafik plot kebocoran

### 3.5 Pengukuran Kebulatan

Pengukuran kebulatan merupakan pengukuran yang bertujuan untuk memeriksa kebulatan suatu benda, atau dengan kata lain untuk mengetahui apakah suatu benda benar-benar bulat atau tidak jika dilihat secara teliti dengan menggunakan alat ukur. Benda bulat dalam pemanfaatannya biasa digunakan secara berpasangan yaitu sebagai lubang atau poros. Terutama jika digunakan sebagai komponen mesin.

Pada suatu batang bulat yang dikerjakan pada suatu mesin bubut atau lubang yang dikerjakan pada suatu mesin bor telah diperhitungkan cara pengerjaannya, tetapi tidak umum kebulatan benda tersebut diukur atau diperiksa karena dianggap bahwa alat-alat perkakas mesin yang digunakan dapat menghasilkan suatu benda kerja pada derajat ketelitian yang dibutuhkan atau diinginkan.

## BAB 4

### HASIL DAN ANALISA

#### 4.1 Pengolahan data

Data yang didapat selama percobaan dimasukkan diolah sebagai berikut,

##### 4.1.1 Contoh pengolahan data ekperimental

Data yang didapat selama percobaan berlangsung berupa dua variable yaitu massa yang hilang dan tekanan didalam tabung. Untuk itu akan diberi contoh perhitungan dimana massa pada menit ke-0 dikurangi oleh massa untuk tiap 5 menit berikutnya, berikut adalah contoh hasil perhitungan untuk  $\Delta$  massa yang hilang.

Tabel 4.1 Contoh perhitungan  $\Delta$  massa.

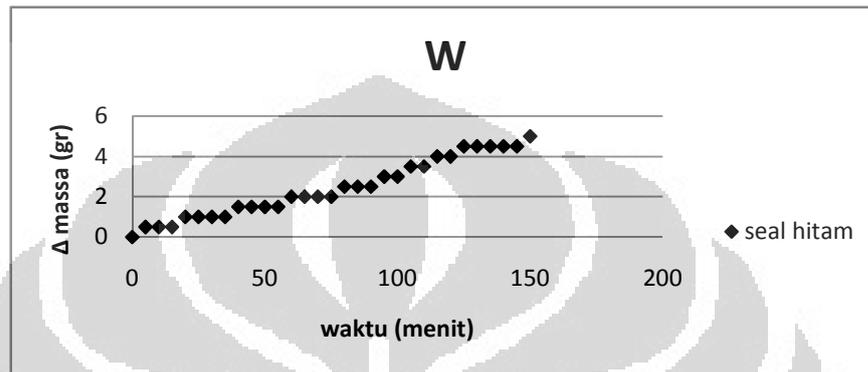
| Waktu<br>(menit) | Massa<br>(gram) | Pressure<br>(bar) | $\Delta$ massa |
|------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| 0                | 8315.5          | 5.92              | 0              |
| 5                | 8315            | 5.86              | 0.5            |
| 10               | 8315            | 5.76              | 0.5            |
| 15               | 8315            | 5.66              | 0.5            |
| 20               | 8314.5          | 5.6               | 1              |
| ...              | ...             | ...               | ...            |

Setelah didapatkan  $\Delta$  massa untuk semua data hingga menit ke 150, maka data tersebut diplot kedalam grafik dengan parameter x yaitu adalah waktu (menit) dan parameter y adalah  $\Delta$  massa.

Tabel 4.2 Parameter x dan y untuk plot grafik

|   |   |
|---|---|
| X | y |
| 0 | 0 |

|     |     |
|-----|-----|
| 5   | 0.5 |
| 10  | 0.5 |
| 15  | 0.5 |
| 20  | 1   |
| ... | ... |



Gambar 4.1 Plot grafik untuk katup jenis W dengan seal hitam

Dari plot grafik, dilakukan regresi eksponensial, sehingga didapat persamaan eksponensial sebagai berikut

$$y = A_1 * \exp(x/t_1) + A_2 * \exp(x/t_2) + y_0$$

Dimana dengan bantuan metode kalkulasi software origin maka didapatkan nilai:

$$A_1 = 2.600011$$

$$A_2 = 2.6001$$

$$t_1 = 229.63651$$

$$t_2 = 229.74098$$

$$y_0 = -4.90052$$

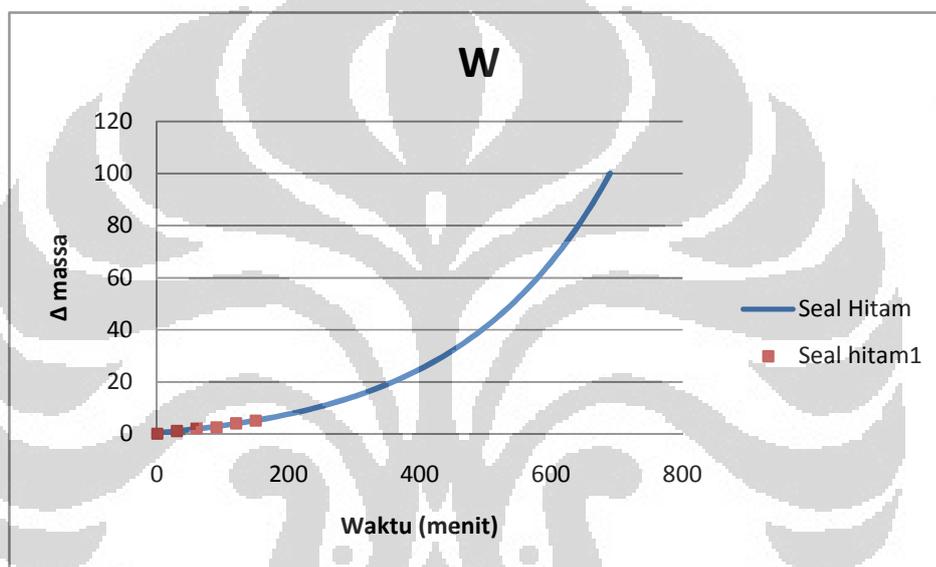
Dengan didapatkannya persamaan regresi eksponensial, maka dilakukan ekstrapolasi dengan memasukkan nilai x sebagai waktu (menit) dan data-data yang didapatkan sehingga menghasilkan y yaitu sebagai  $\Delta$  massa. Berikut adalah hasil perhitungan dari ekstrapolasi.

Tabel 4.3 Hasil perhitungan ekstrapolasi

| Waktu (menit) | $\Delta$ massa hilang |
|---------------|-----------------------|
| 0             | 0.3                   |

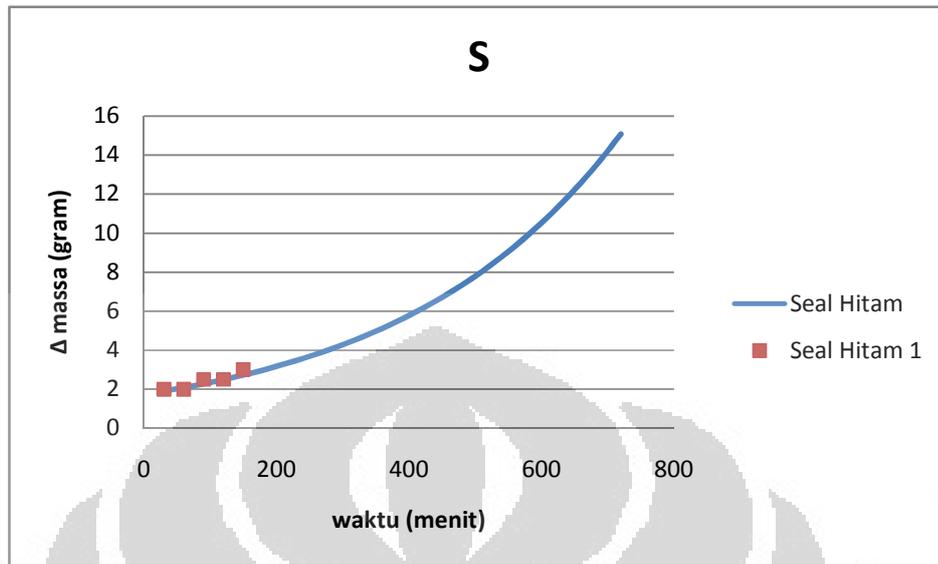
|     |          |
|-----|----------|
| 5   | 0.4144   |
| 10  | 0.5313   |
| 15  | 0.650921 |
| 20  | 0.77308  |
| 25  | 0.8979   |
| ... | ...      |

Dari hasil perhitungan ekstrapolasi, data-data tersebut diplot dalam grafik dengan interval waktu 30 menit yang dimulai dari menit ke 30.

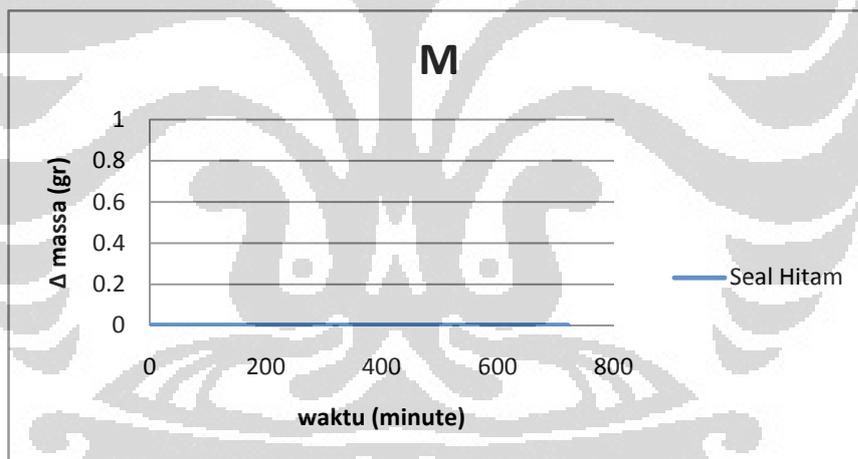


Gambar 4.2 Grafik hasil ekstrapolasi untuk katup jenis W dengan seal hitam.

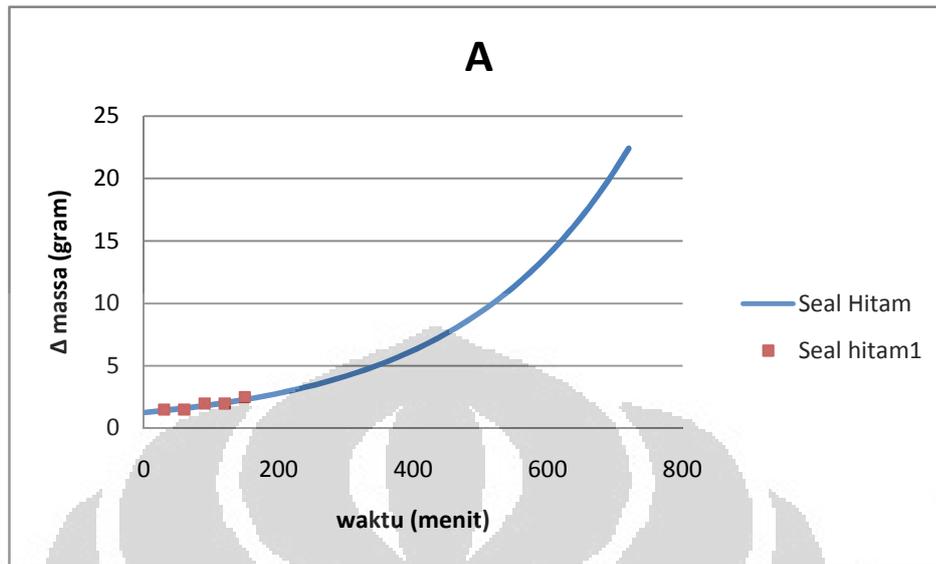
Untuk empat jenis katup berbeda yaitu katup S dengan seal yang sama juga dipergunakan langkah-langkah diatas sehingga didapat grafik hasil ekstrapolasi sebagai berikut,



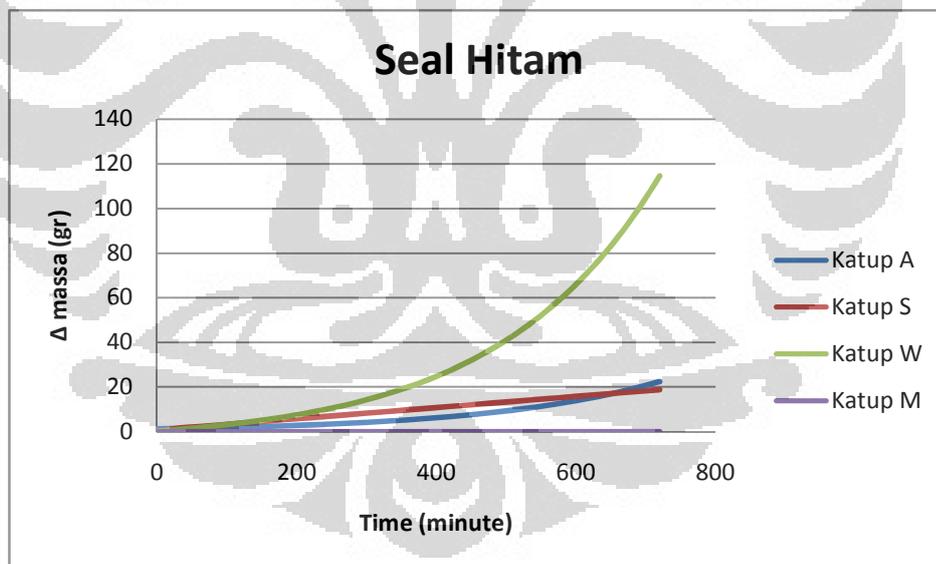
Gambar 4.3 Grafik hasil ekstrapolasi untuk katup jenis S dengan seal Hitam.



Gambar 4.4 Grafik hasil ekstrapolasi untuk katup jenis M dengan seal Hitam.



Gambar 4.5 Grafik hasil ekstrapolasi untuk katup jenis A dengan seal Hitam  
 Dengan didapatkan keempat grafik tersebut, maka grafik tersebut dibandingkan satu sama lain. Grafik perbandingan kebocoran antar Katup sebagai berikut,



Gambar 4.6 Perbandingan grafik antara empat katup berbeda dengan seal hitam

#### 4.1.1 Pengolahan data kalkulasi

Pengolahan data kalkulasi dilakukan untuk memprediksi kebocoran yang terjadi di rubber seal. Untuk mendapatkan tingkat kebocoran yang terkalkulasi, maka parameter yang harus didapat adalah faktor kompresibilitas Z yaitu faktor deviasi dari

gas ideal yang digunakan untuk mengetahui sifat dari gas riil. Berikut adalah contoh perhitungan untuk mendapatkan faktor kompresibilitas Z.

Tabel 4.4 Data temperatur dan tekanan kritisal gas butana dan propana

| Gas     | Temperatur kritisal (K) | Tekanan kritisal (MPa) |
|---------|-------------------------|------------------------|
| Butana  | 425.12                  | 3.796                  |
| Propana | 369.83                  | 4.248                  |

Dengan diketahui komposisi LPG adalah 70% butane dan 30% propana maka dengan menggunakan aturan W. B. Kay (1936) dilakukan perhitungan untuk nilai temperatur dan tekanan kritisal sebagai berikut.

Temperatur pseudokritisal

$$T_{pc} = y_1T_{c1} + y_2T_{c2} + y_3T_{c3}...$$

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

$$T_{pc} = 297.584 \text{ K} + 110.949 \text{ K}$$

$$T_{pc} = 408.533 \text{ K}$$

Tekanan pseudokritisal

$$P_{pc} = y_1P_{c1} + y_2P_{c2} + y_3P_{c3}...$$

$$P_{pc} = (0.7 \times 3.796) \text{ MPa} + (0.3 \times 4.248) \text{ MPa}$$

$$P_{pc} = 2.6572 \text{ MPa} + 1.2744 \text{ MPa}$$

$$P_{pc} = 3.9316 \text{ MPa}$$

Dengan diketahuinya nilai temperatur dan tekanan kritisal maka bisa dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai dari temperatur dan tekanan *pseudoreduced*. Untuk tekanan tabung gas dan temperatur dari LPG didapatkan dari selama percobaan. Berikut adalah contoh pengolahan data untuk mendapatkan nilai temperatur dan tekanan *pseudoreduced*.

Temperatur *pseudoreduced*

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

$$T_{pr} = \frac{(26.32 + 273.15) \text{ K}}{408.553 \text{ K}}$$

$$T_{pr} = 0.733$$

Tekanan pseudoreduced

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

$$P_{pr} = \frac{5.92 \times 10^5 / 10^6 \text{ MPa}}{3.9316 \text{ MPa}}$$

$$P_{pr} = 0.15$$

Berikut adalah hasil perhitungan data temperatur dan tekanan pseudoreduced.

Tabel 4.5 Contoh hasil perhitungan data  $T_{pr}$  dan  $P_{pr}$

| Waktu (menit) | Temperatur (K) | Tekanan (MPa) | $T_{pr}$ | $P_{pr}$ |
|---------------|----------------|---------------|----------|----------|
| 0             | 299.47         | 0.592         | 0.733    | 0.151    |
| 5             | 299.47         | 0.586         | 0.733    | 0.149    |
| 10            | 299.47         | 0.576         | 0.733    | 0.147    |
| 15            | 299.47         | 0.566         | 0.733    | 0.144    |
| 20            | 299.47         | 0.56          | 0.733    | 0.142    |
| ...           | ...            | ...           | ...      | ...      |

Untuk mencari  $Z$  digunakan formula Hall dan Yarborough (1973), berikut adalah contoh perhitungannya,

$$t = \frac{1}{T_{pr}}$$

$$t = \frac{1}{0.733}$$

$$t = 1.364$$

$$A = 0.06125 \times t \times e^{-1.2(1-t)^2}$$

$$A = 0.06125 \times 1.364 \times e^{-1.2(1-t)^2}$$

$$A = 0.0712$$

$$B = t(14.76 - (9.76 \times t) + 4.58t^2)$$

$$B = 1.364(14.76 - (9.76 \times 1.364) + 4.58 \times 1.364^2)$$

$$B = 13.6$$

$$C = t(90.7 - (242.2 \times t) + 42.4t^2)$$

$$C = 1.364(90.7 - (242.2 \times 1.364) + 42.4 \times 1.364^2)$$

$$C = -219.36$$

$$D = 2.18 + 2.82 \times t$$

$$D = 2.18 + 2.82 \times 1.364$$

$$D = 6.027$$

$$f(Y) = \frac{Y + Y^2 + Y^3 - Y^4}{(1-Y)^3} - A \times Ppr - BY^2 + CY^D = 0$$

$$f(Y) = \frac{Y + Y^2 + Y^3 - Y^4}{(1-Y)^3} - 0.0712 \times 0.15 - 13.6 + (-219.36Y^{6.027})$$

$$f(Y) = Y = 0.0124$$

$$Z = \frac{A \times Ppr}{Y}$$

$$Z = \frac{0.0712 \times 0.15}{0.0124}$$

$$Z = 0.882$$

Sehingga didapatkan Z untuk keseluruhan data dengan tabel sebagai berikut

Tabel 4.6 Nilai Z untuk seluruh data

| Menit ke- | Ppr   | Tpr   | t     | A     | B      | C       | D     | Y     | Z     |
|-----------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|-------|
| 0         | 0.154 | 0.733 | 1.364 | 0.071 | 13.599 | -219.36 | 6.027 | 0.012 | 0.882 |

|     |       |       |       |       |        |         |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|-------|
| 5   | 0.154 | 0.733 | 1.364 | 0.071 | 13.599 | -219.36 | 6.027 | 0.012 | 0.882 |
| 10  | 0.154 | 0.733 | 1.364 | 0.071 | 13.599 | -219.36 | 6.027 | 0.012 | 0.882 |
| 15  | 0.154 | 0.733 | 1.364 | 0.071 | 13.599 | -219.36 | 6.027 | 0.012 | 0.882 |
| ... | ...   | ...   | ...   | ...   | ...    | ...     | ...   | ...   | ...   |

Dengan diketahuinya nilai Z maka nilai molar gas LPG didalam tabung dapat dicari dengan menggunakan hukum gas ideal dengan faktor Z.

$$PV = nZRT$$

$$n = \frac{PV}{ZRT}$$

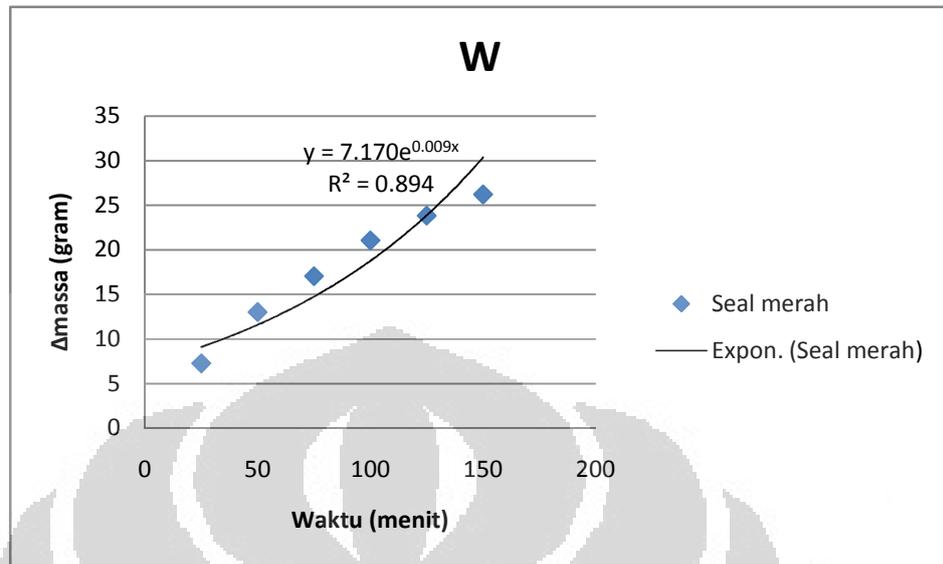
Jika nilai molar diketahui maka massa gas LPG pun diketahui dengan mengkalikan nilai molar dengan massa molecular LPG. Berikut adalah tabel hasil perhitungan untuk massa gas LPG.

Tabel 4.7 Massa kalkulasi.

| Menit ke- | mol   | Massa(gram) |
|-----------|-------|-------------|
| 0         | 2.069 | 111.567     |
| 5         | 2.069 | 111.567     |
| 10        | 2.069 | 111.567     |
| 15        | 2.069 | 111.567     |
| 20        | 2.069 | 111.567     |
| ...       | ...   | ...         |

Dari massa kalkulasi yang didapatkan, dilakukan perhitungan untuk mencari delta massa yang kemudian diplot kedalam grafik kemudian didapatkan persamaan Eksponensial dari grafik tersebut.

$$y = 7.170 \times e^{0.009x}$$

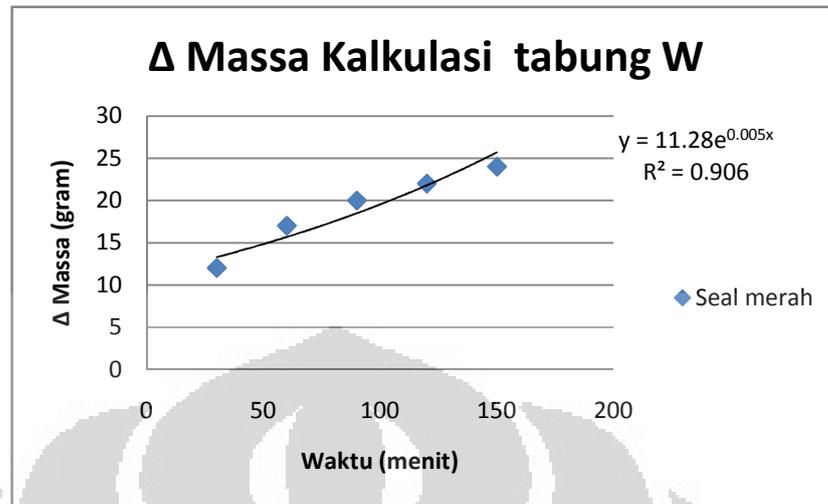


Gambar 4.7 Grafik  $\Delta$  massa kalkulasi.

Dari persamaan tersebut didapat, maka dilakukan ekstrapolasi hingga menit ke 720 kemudian diplot ke dalam grafik.

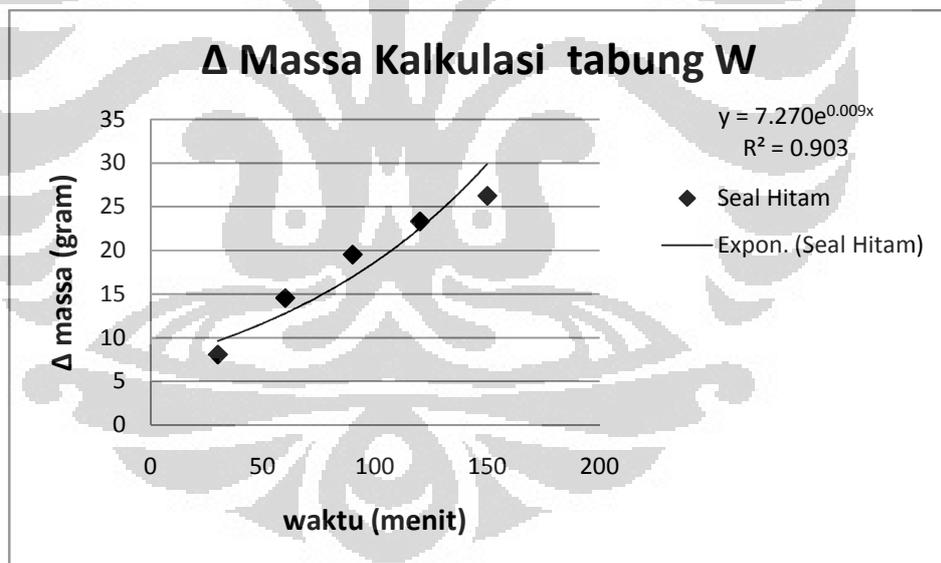
Tabel 4.8  $\Delta$  Massa ekstrapolasi.

| Waktu (menit) | $\Delta$ Massa (gram) |
|---------------|-----------------------|
| 0             | 0                     |
| 5             | 0                     |
| 10            | 0                     |
| 15            | 0                     |
| 20            | 0                     |
| 25            | 0.192                 |
| ...           | ...                   |



Gambar 4.8 Grafik  $\Delta$  massa kalkulasi hasil dari ekstrapolasi pada katup W dengan rubber seal merah

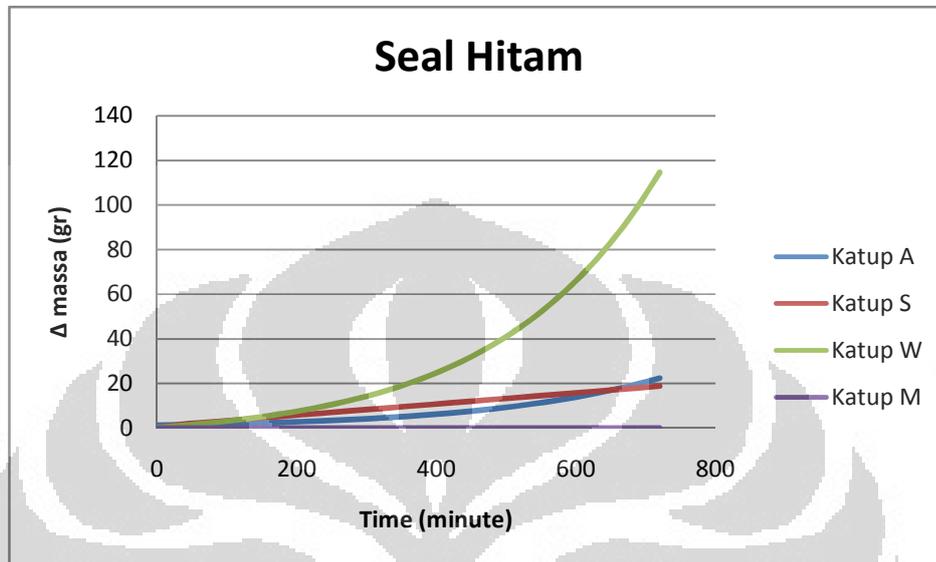
Untuk rubber seal hitam, dipakai cara pengolahan data yang sama seperti sebelumnya sehingga didapat grafik hasil ekstrapolasi sebagai berikut,



Gambar 4.9 Grafik  $\Delta$  massa kalkulasi hasil dari ekstrapolasi pada katup W dengan rubber seal hitam

## 4.2 ANALISA

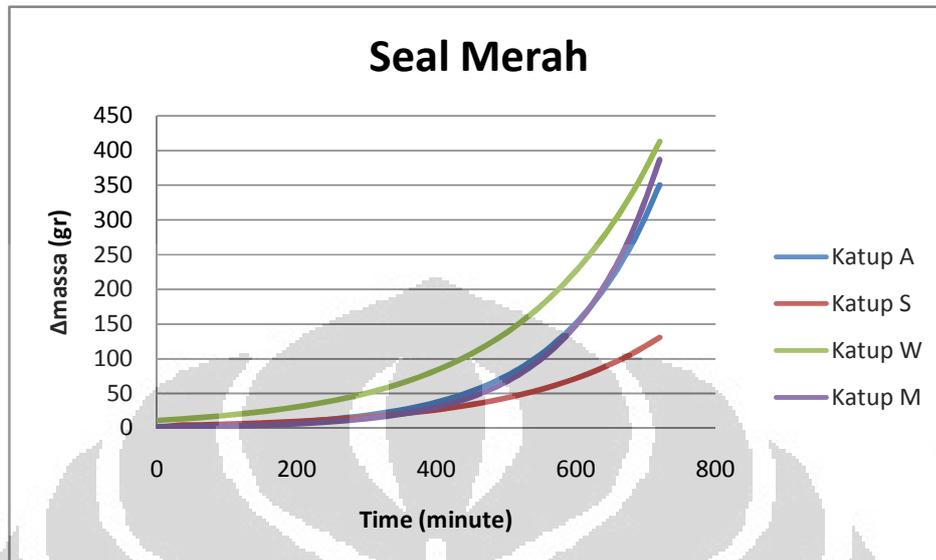
### 4.2.1 Analisa grafik seal hitam pada berbagai macam jenis katup



Gambar 4.10 Perbandingan grafik antara katup type A, S, W, dan M untuk jenis seal Hitam

Untuk perbandingan antara katup type A, S, W, dan M pada tabung gas dengan jenis *seal* Hitam, dari grafik di atas didapat bahwa tingkat kebocoran untuk katup W lebih besar bila dibandingkan dengan katup S, M, dan A. Terjadinya kenaikan pada menit ke 70 sebesar 2.153 gram, dimana sebelum menit ke 70 katup type S lebih besar tingkat kebocorannya yaitu sebesar 2.112 gram sedangkan katup type W sebesar 2.001 gram. Total kebocoran dari katup type W hingga menit ke 720 sebesar 114.599 gram. Untuk katup type M didapat tingkat kebocoran yang sangat stabil yaitu sebesar 0 gram dari menit ke 0 hingga menit ke 720 (12 jam), dimana dengan demikian katup type m memiliki tingkat kebocoran yang sangat kecil. Untuk katup type A menghasilkan tingkat kebocoran yang relative kecil dibanding katup W. Tapi jika dibandingkan type katup S dan M katup A masih kurang baik kualitasnya. Dari data didapat katup A memiliki total nilai kebocoran sebesar 22.41 gram pada menit ke 720. Katup type S memiliki total nilai kebocoran sebesar 15.070 gram pada menit ke 720.

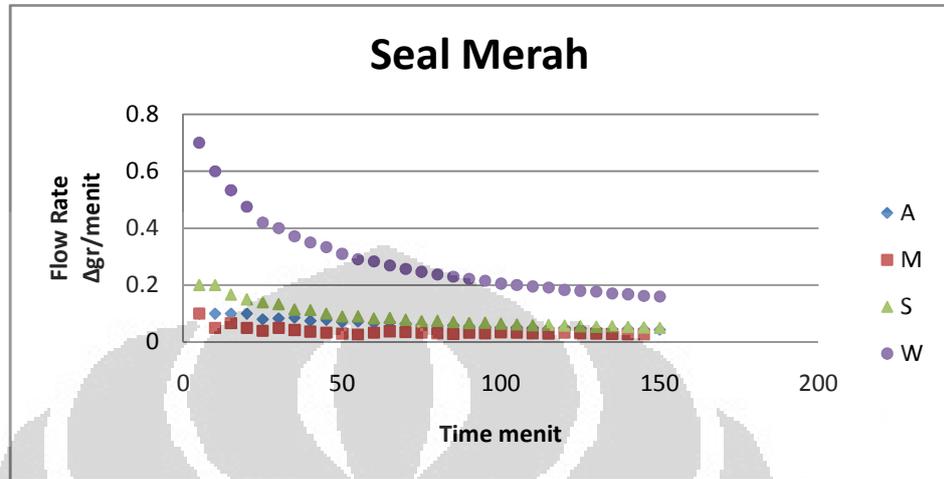
#### 4.2.2 Analisa grafik seal merah pada berbagai macam jenis katup



Gambar 4.11 Perbandingan grafik antara katup type A, S, W, dan M untuk jenis seal Merah

Perbandingan selanjutnya mengenai kebocoran tabung gas yaitu perbandingan katup type A, S, W, dan M dengan seal merah. Dari data didapat katup type W masih memiliki kualitas yang kurang sama seperti katup type W dengan seal hitam. Nilai total kebocoran yang didapat untuk katup type W yaitu sebesar 412.828 gram hingga menit ke 720. Untuk katup yang memiliki nilai total kebocoran paling kecil adalah katup S dengan total nilai kebocoran hingga menit ke 720 sebesar 130.509 gram. Katup type M dan A memiliki total nilai kebocoran yang tidak jauh beda. Untuk katup M memiliki nilai total kebocoran sampai menit ke 720 sebesar 386.530 gram sedangkan katup A memiliki nilai total kebocoran sebesar 350.647 gram hingga menit ke 720.

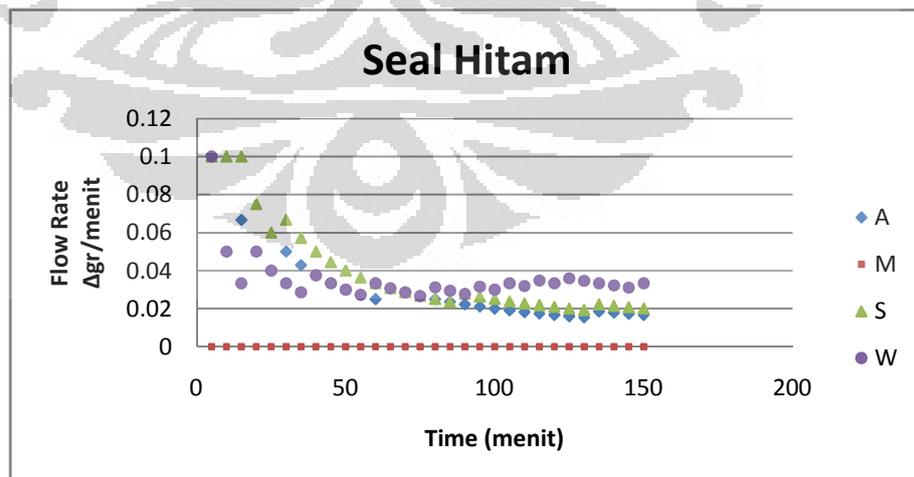
### 4.2.3 Analisa Grafik Flow Rate Seal Merah Untuk Berbagai Macam Katup



Gambar 4.12 perbandingan grafik flow rate pada seal merah untuk berbagai macam katup

Dari data yang terlihat diatas didapatkan analisis flow rate dari setiap katup dengan menggunakan seal merah, yaitu dimana kecepatan aliran tertinggi terdapat pada katup W sebesar 0.7 gr/menit saat menit awal. Untuk aliran terendah pada katup M dan A sebesar 0.1 gr/menit saat menit awal. Sedangkan untuk katup S didapatkan kecepatan aliran sebesar 0.2.

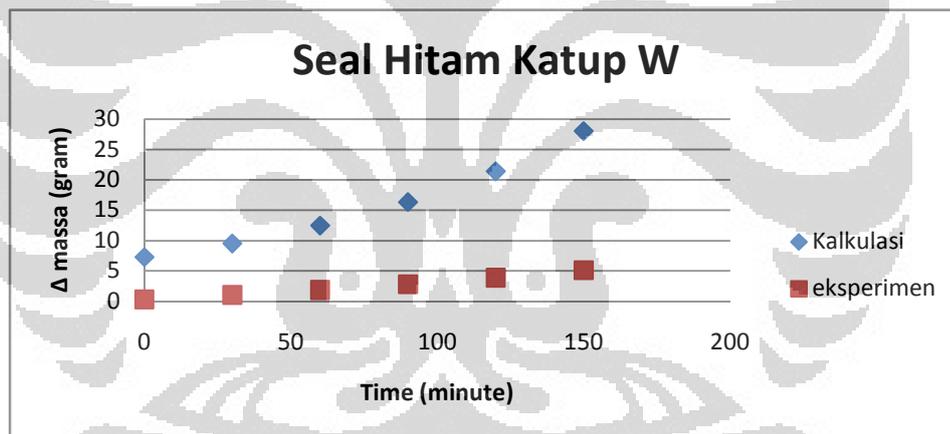
### 4.2.4 Analisa Grafik Flow Rate Seal Hitam Untuk Berbagai Macam Katup



Gambar 4.13 perbandingan grafik flow rate pada seal hitam untuk berbagai macam katup

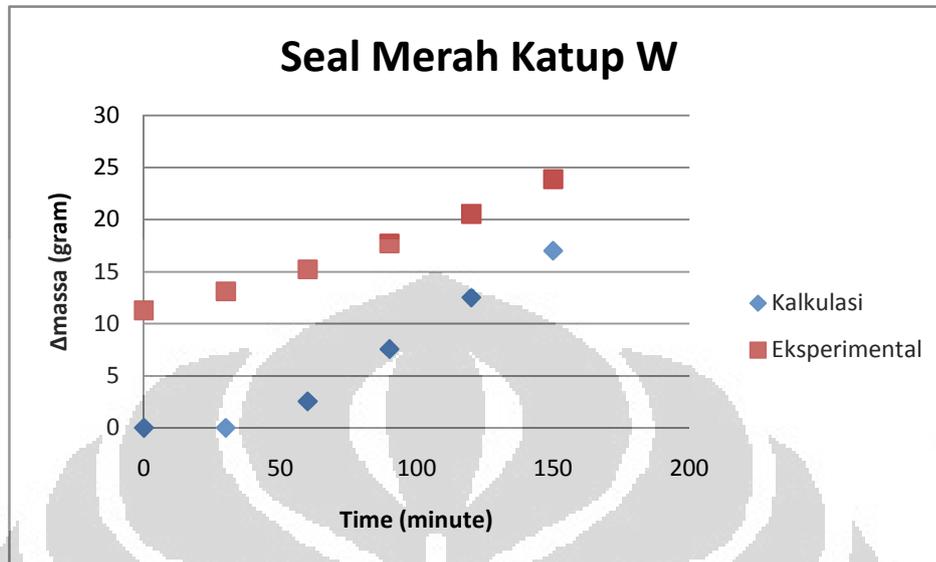
Kecepatan aliran kebocoran untuk berbagai macam katup dengan menggunakan seal hitam, didapat kecepatan aliran tertinggi pada katup A, S, dan W sebesar 0.1 gr/menit pada menit awal. Namun saat menit ke 150 tingkat kebocoran paling tinggi pada katup W sebesar 0.0333 gr/menit. Sedangkan katup A dan S masing-masing memiliki kecepatan kebocoran sebesar 0.02 gr/menit dan 0.016 gr/menit. Untuk katup M memiliki kecepatan aliran kebocoran yang sangat stabil yaitu sebesar 0 gr/menit.

#### 4.2.5 Analisa grafik massa kalkulasi untuk katup jenis W



Gambar 4.14 Perbandingan Data kalkulasi dengan eksperimen untuk seal hitam type katup W

Dari grafik perbandingan data kalkulasi dengan eksperimen untuk jenis seal hitam type katup W didapatkan perbedaan, yaitu untuk data perhitungan secara kalkulasi didapat total massa yang keluar dari tabung gas LPG dengan type katup W sebesar 28.043 gram saat menit ke 150, pada menit ke 0 type katup W dengan menggunakan seal hitam memiliki nilai kebocoran sebesar 7.27 gram. Untuk data eksperimen didapatkan nilai kebocoran saat menit ke 150 sebesar 5.091 gram dan saat menit ke 0 didapat nilai kebocoran 0.3 gram.



Gambar 4.15 Perbandingan Data kalkulasi dengan eksperimen untuk seal merah type katup W

Perbandingan grafik kebocoran data kalkulasi dengan eksperimen untuk seal merah type katup W saat menit ke 150 memiliki perbedaan yang tidak terlalu jauh dibanding saat menggunakan seal hitam. Dimana saat menggunakan seal merah pada saat menit ke 150 untuk data kalkulasi bernilai 16.998 gram sedangkan untuk data eksperimen bernilai 23.88 gram. Untuk menit awal di dapat nilai kebocoran pada eksperimen yaitu bernilai 11.28 gram untuk kalkulasi 0 gram.

#### 4.2.6 Analisis Pengukuran Kebulatan Katup

Katup S

|                        |                                     |
|------------------------|-------------------------------------|
| Referensi circle LS    | Filter = 15-500                     |
| $P = 4.53 \mu\text{m}$ | $V = -6.97 \mu\text{m}$             |
| $R = 0.01 \mu\text{m}$ | $P_{\text{tov}} = 11.5 \mu\text{m}$ |
| $\theta = 161.4^\circ$ | $\text{RND} = 11.5 \mu\text{m}$     |

Dari hasil pengukuran nilai kebulatan didapat nilai P yang berarti puncak tertinggi terhadap lingkaran dengan jari-jari yang dijadikan referensi, dengan kata lain adalah profil tengah. Nilai V berarti lembah terendah terhadap lingkaran

dengan jari-jari yang dijadikan referensi bernilai. Nilai P to V yang dimaksud adalah jarak dari puncak tertinggi kelembah terendah dari profil bulatan. Sedangkan, nilai  $10\ \mu\text{m}$  adalah skala jarak tiap lingkaran. Dengan mengetahui terlebih dahulu definisi diatas maka kita dapat membaca dan menganalisis profil kebulatan yang ditampilkan di monitor roundness tester. Dari hasil pengukuran, kita dapat menganalisa kebulatan hanya dari parameter LS karena LS dijadikan standar pada pengukuran kebulatan. Hasil pembacaan menunjukkan nilai jari-jari kebulatan silinder adalah  $11.5\ \mu\text{m}$ . Silinder memiliki puncak yang tingginya  $4.53\ \mu\text{m}$  dan lembah terendah  $-6.97\ \mu\text{m}$ .



Gambar 4.16 Hasil pengukuran kebulatan katup S

#### Katup W

|                         |                             |
|-------------------------|-----------------------------|
| Referensi circle LS     | Filter = 15-500             |
| $P = 8.16\ \mu\text{m}$ | $V = -16.29\ \mu\text{m}$   |
| $R = 0.02\ \mu\text{m}$ | $PtoV = 24.45\ \mu\text{m}$ |
| $\theta = 237.9^\circ$  | $RND = 24.45\ \mu\text{m}$  |

Hasil pengukuran kebulatan untuk katup W menunjukkan nilai jari-jari kebulatan silinder adalah  $24.45\ \mu\text{m}$ . Silinder memiliki puncak yang tingginya  $8.16\ \mu\text{m}$  dan lembah terendah  $-16.29\ \mu\text{m}$ .



Gambar 4.17 Hasil pengukuran kebulatan katup W

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN dan SARAN**

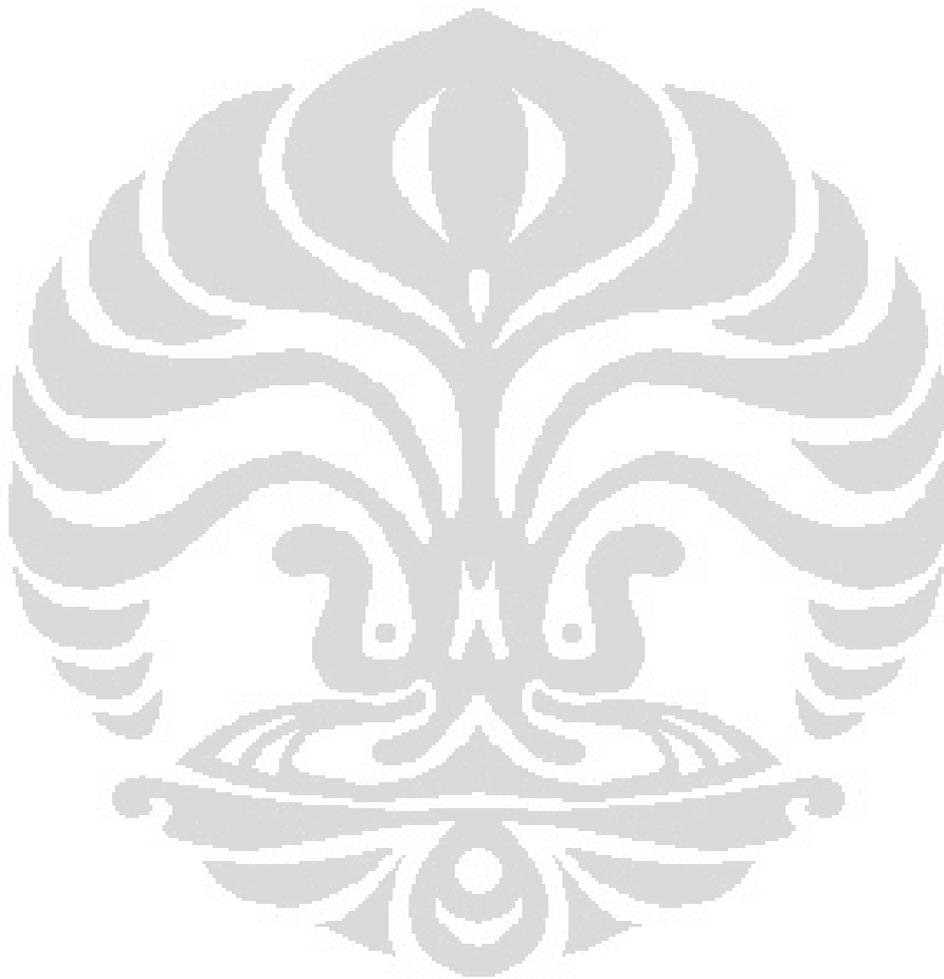
#### ***5.1 Kesimpulan***

Dari pengamatan mengenai kebocoran pada tabung gas LPG yang difariasikan berdasarkan jenis katup dan seal, maka didapatkan beberapa kesimpulan mengenai tingkat kebocoran dan kualitas yang dihasilkan dari beberapa jenis katup yaitu:

1. Katup type W memiliki kualitas yang sangat kurang dibandingkan jenis katup lainnya, bahkan saat menggunakan seal merah katup type W menghasilkan kebocoran yang sangat besar, nilai yang dihasilkan katup type W dengan Seal merah yaitu 412.828 gram hingga menit ke 720. Saat menggunakan seal hitam katup type W sama juga menunjukkan kualitas yang kurang, nilai yang didapat sebesar 114.599 gram
2. Katup yang memiliki tingkat kebocoran paling rendah adalah katup M dengan menggunakan seal warna hitam, namun saat menggunakan seal warna merah dihasilkan tingkat kebocoran yang sangat tinggi. Sedangkan saat menggunakan seal merah katup S memiliki tingkat kebocoran yang sangat rendah.
3. Katup S dan katup M memiliki tingkat kebocoran yang dihasilkan hampir sama saat menggunakan seal hitam.
4. Hasil perhitungan kalkulasi dibanding dengan data eksperimen memiliki beberapa perbedaan, terutama saat penggunaan seal hitam type katup W saat menit ke 150. Dimana nilai kebocoran eksperimen sebesar 5.091 gram namun saat perhitungan bernilai 28.043 gram.
5. Dari beberapa hal yang didapat penggunaan katup sangat berkaitan dengan tingkat kebocoran, namun penggunaan seal juga sangat perlu diperhatikan.
6. Dari hasil pengukuran kebundaran didapat nilai kebundaran untuk katup jenis S sebesar 11.5  $\mu\text{m}$  dengan filter 15-500 dan referensi LS, sedangkan untuk katup W didapat nilai kebundaran 24.45  $\mu\text{m}$  filter yang digunakan 15-500 dan referensi LS.

### **5.2 Saran**

1. Pada penelitian selanjutnya, untuk mendapatkan hasil yang baik perlu dilakukan disain yang baru, agar dihasilkan data yang sempurna.
2. Sebelum melakukan percobaan pastikan alat ukur untuk menguji yang digunakan berada pada kondisi baik. Agar pengukuran memiliki ketelitian yang baik.



## DAFTAR ACUAN

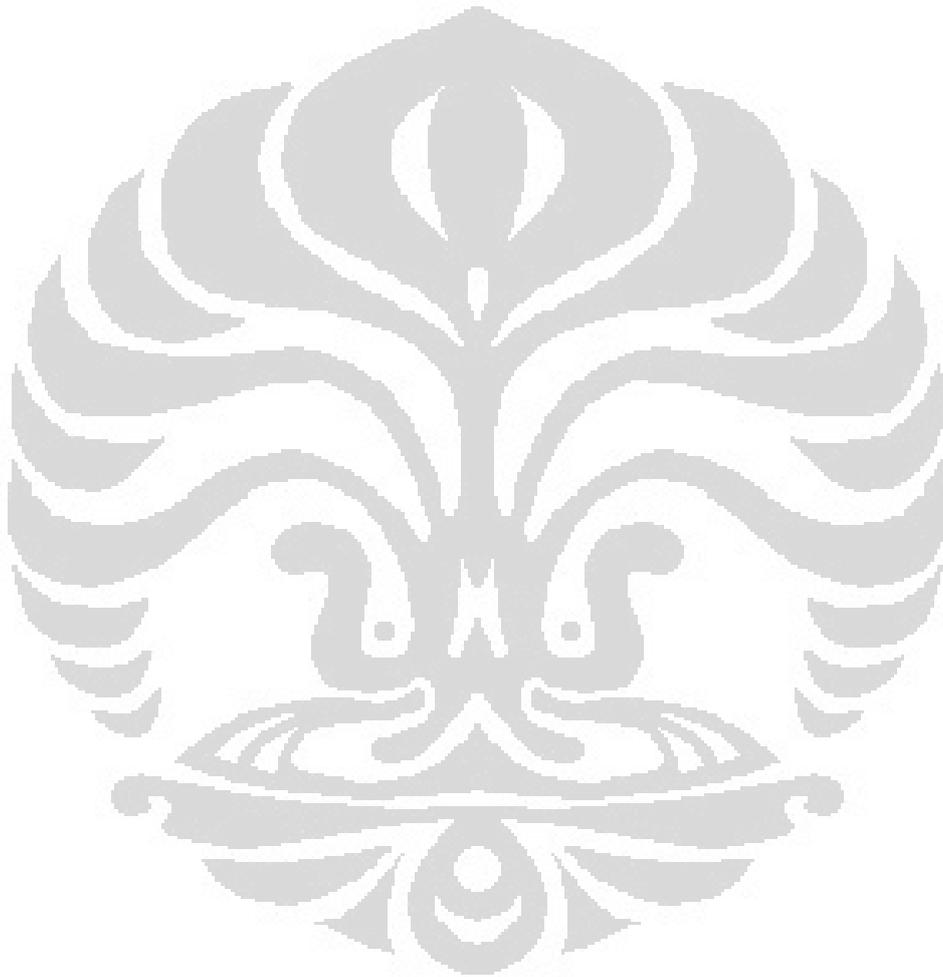
- [1]. Wadrianto, Glori K. (2010). *Kemelut tabung elpiji*. Juni 25, 2010. <http://megapolitan.kompas.com/read/2010/06/25/10111552/Kemelut.Tabung.Elpiji>
- [2]. Djumena, Erlangga. (2010). *Konversi Minyak ke Gas Selesai 2011*. Agustus 16, 2010. <http://bisniskeuangan.kompas.com/read/2010/08/16/07312887/Konversi.Minyak.ke.Gas.Selesai.2011>
- [3]. Wadrianto, Glori K. (2010). *Kemelut tabung elpiji*. Juni 25, 2010. <http://megapolitan.kompas.com/read/2010/06/25/10111552/Kemelut.Tabung.Elpiji>
- [4]. HL. (2010). *Perang melawan teroris gas elpiji (LPG)*. July 13, 2010. <http://politik.kompasiana.com/2010/07/13/perang-melawan-teroris-gas-elpiji-lpg/>
- [5]. Joewono, Benny N. (2010). *Ribuan tabung gas rusak menumpuk di SPBE*. July 19, 2010. <http://regional.kompas.com/read/2010/07/19/19244144/Ribuan.Tabung.Gas.Rusak.Menumpuk.di.SPBE>
- [6]. HL. (2010). *Perang melawan teroris gas elpiji (LPG)*. July 13, 2010. <http://politik.kompasiana.com/2010/07/13/perang-melawan-teroris-gas-elpiji-lpg/>
- [7]. Kompas. (2010). *Pertamina hanya edarkan tabung ber-SNI*. Juni 2, 2010. <http://www.kompas.com/lipsus052009/antasariread/2010/06/02/08584921/Pertamina.Hanya.Edarkan.Tabung.Ber.SNI>
- [8]. Kompas. (2010). *Pertamina hanya edarkan tabung ber-SNI*. Juni 2, 2010. <http://www.kompas.com/lipsus052009/antasariread/2010/06/02/08584921/Pertamina.Hanya.Edarkan.Tabung.Ber.SNI>
- [9]. BPPT. (2011). *BPPT rekomendasikan penggantian regulator untuk tabung gas LPG 3KG*. Januari 24, 2011. [http://www.bppt.go.id/index.php?option=com\\_content&view=article&id=670:bppt-rekomendasikan-penggantian-regulator-untuk-tabung-gas-lpg-3kg&catid=63:kebijakan-teknologi](http://www.bppt.go.id/index.php?option=com_content&view=article&id=670:bppt-rekomendasikan-penggantian-regulator-untuk-tabung-gas-lpg-3kg&catid=63:kebijakan-teknologi)
- [10]. Poskota Kaltim. (2010). *Tiap hari 30 ton gas LPG untuk Kaltim*. Agustus 18, 2010.

<http://www.poskotakaltim.com/berita/read/7078->

Ruber%20Seal%20Tabung%20LPG%20Rusak%20Harus%20Diganti

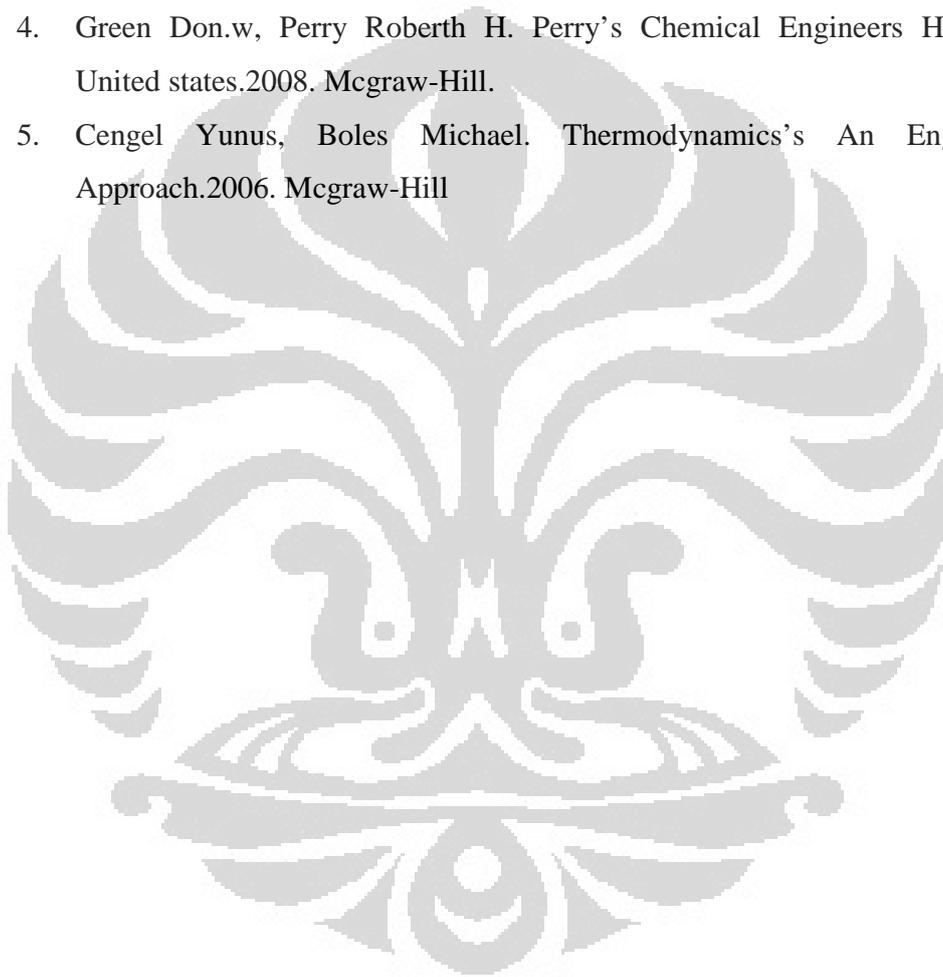
[11] Handbook of compressed gas

[12] Firmansyah, Rachmat Harris. "*Penelitian Kestabilan dan panjang nyala api premix akibat variasi diameter dalam ring menggunakan gas propana pada bunsen burner*".DTM FTUI (2008)



## DAFTAR PUSTAKA

1. Handbook of compressed Gas
2. Moran J, Shapiro N.M, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*.England.2000. John Wiley&Sons Inc
3. Guo Boyun, Ghalambor Ali. *Natural Gas Engineering*.Houston.2005.Gulf Publishing Company.
4. Green Don.w, Perry Roberth H. *Perry's Chemical Engineers Handbook*. United states.2008. Mcgraw-Hill.
5. Cengel Yunus, Boles Michael. *Thermodynamics's An Engineering Approach*.2006. Mcgraw-Hill



## LAMPIRAN

Tabel data katup jenis W dengan *rubber seal* hitam

| waktu<br>(menit) | massa<br>(gr) | tekanan<br>(bar) | $\Delta$ massa<br>(gr) |
|------------------|---------------|------------------|------------------------|
| 0                | 8315.5        | 5.92             | 0                      |
| 5                | 8315          | 5.86             | 0.5                    |
| 10               | 8315          | 5.76             | 0.5                    |
| 15               | 8315          | 5.66             | 0.5                    |
| 20               | 8314.5        | 5.6              | 1                      |
| 25               | 8314.5        | 5.52             | 1                      |
| 30               | 8314.5        | 5.46             | 1                      |
| 35               | 8314.5        | 5.4              | 1                      |
| 40               | 8314          | 5.36             | 1.5                    |
| 45               | 8314          | 5.3              | 1.5                    |
| 50               | 8314          | 5.24             | 1.5                    |
| 55               | 8314          | 5.22             | 1.5                    |
| 60               | 8313.5        | 5.16             | 2                      |
| 65               | 8313.5        | 5.12             | 2                      |
| 70               | 8313.5        | 5.08             | 2                      |
| 75               | 8313.5        | 5.04             | 2                      |
| 80               | 8313          | 5                | 2.5                    |
| 85               | 8313          | 4.96             | 2.5                    |
| 90               | 8313          | 4.92             | 2.5                    |
| 95               | 8312.5        | 4.88             | 3                      |
| 100              | 8312.5        | 4.84             | 3                      |
| 105              | 8312          | 4.8              | 3.5                    |
| 110              | 8312          | 4.78             | 3.5                    |
| 115              | 8311.5        | 4.76             | 4                      |
| 120              | 8311.5        | 4.74             | 4                      |
| 125              | 8311          | 4.7              | 4.5                    |
| 130              | 8311          | 4.68             | 4.5                    |
| 135              | 8311          | 4.64             | 4.5                    |
| 140              | 8311          | 4.62             | 4.5                    |
| 145              | 8311          | 4.58             | 4.5                    |
| 150              | 8310.5        | 4.54             | 5                      |

Tabel data katup jenis W dengan *rubber seal* merah

| waktu (menit) | massa (gram) | tekanan (bar) | $\Delta$ massa (gram) |
|---------------|--------------|---------------|-----------------------|
| 0             | 8323.5       | 6.06          | 0                     |
| 5             | 8320         | 6.06          | 3.5                   |
| 10            | 8317.5       | 6.06          | 6                     |
| 15            | 8315.5       | 6.06          | 8                     |
| 20            | 8314         | 6.06          | 9.5                   |
| 25            | 8313         | 6.06          | 10.5                  |
| 30            | 8311.5       | 6.06          | 12                    |
| 35            | 8310.5       | 6.06          | 13                    |
| 40            | 8309.5       | 6.04          | 14                    |
| 45            | 8308.5       | 6.02          | 15                    |
| 50            | 8308         | 6             | 15.5                  |
| 55            | 8307.5       | 6             | 16                    |
| 60            | 8306.5       | 5.94          | 17                    |
| 65            | 8306         | 5.9           | 17.5                  |
| 70            | 8305.5       | 5.86          | 18                    |
| 75            | 8305         | 5.82          | 18.5                  |
| 80            | 8304.5       | 5.78          | 19                    |
| 85            | 8304         | 5.76          | 19.5                  |
| 90            | 8303.5       | 5.7           | 20                    |
| 95            | 8303         | 5.66          | 20.5                  |
| 100           | 8303         | 5.62          | 20.5                  |
| 105           | 8302.5       | 5.58          | 21                    |
| 110           | 8302         | 5.54          | 21.5                  |
| 115           | 8301.5       | 5.5           | 22                    |
| 120           | 8301.5       | 5.46          | 22                    |
| 125           | 8301         | 5.42          | 22.5                  |
| 130           | 8300.5       | 5.38          | 23                    |
| 135           | 8300.5       | 5.34          | 23                    |
| 140           | 8300         | 5.32          | 23.5                  |
| 145           | 8300         | 5.28          | 23.5                  |
| 150           | 8299.5       | 5.24          | 24                    |

Tabel data katup jenis S dengan *rubber seal* merah

| waktu | massa | tekanan | $\Delta$ massa |
|-------|-------|---------|----------------|
|-------|-------|---------|----------------|

| (menit) | (gram) | (bar) | (gram) |
|---------|--------|-------|--------|
| 0       | 8162.5 | 6     | 0      |
| 5       | 8161.5 | 6     | 1      |
| 10      | 8160.5 | 6     | 2      |
| 15      | 8160   | 6     | 2.5    |
| 20      | 8159.5 | 6     | 3      |
| 25      | 8159   | 6     | 3.5    |
| 30      | 8158.5 | 6     | 4      |
| 35      | 8158.5 | 6     | 4      |
| 40      | 8158   | 6     | 4.5    |
| 45      | 8158   | 6     | 4.5    |
| 50      | 8158   | 6     | 4.5    |
| 55      | 8157.5 | 6.02  | 5      |
| 60      | 8157.5 | 6.02  | 5      |
| 65      | 8157   | 6.02  | 5.5    |
| 70      | 8157   | 6.02  | 5.5    |
| 75      | 8157   | 6.02  | 5.5    |
| 80      | 8156.5 | 6.02  | 6      |
| 85      | 8156.5 | 6.02  | 6      |
| 90      | 8156.5 | 6.02  | 6      |
| 95      | 8156   | 6.02  | 6.5    |
| 100     | 8156   | 6.02  | 6.5    |
| 105     | 8156   | 6.04  | 6.5    |
| 110     | 8156   | 6.04  | 6.5    |
| 115     | 8155.5 | 6.04  | 7      |
| 120     | 8155.5 | 6.04  | 7      |
| 125     | 8155.5 | 6.04  | 7      |
| 130     | 8155.5 | 6.04  | 7      |
| 135     | 8155   | 6.06  | 7.5    |
| 140     | 8155   | 6.06  | 7.5    |
| 145     | 8155   | 6.06  | 7.5    |
| 150     | 8155   | 6.06  | 7.5    |

Tabel data katup jenis S dengan *rubber seal* hitam

| waktu<br>(menit) | massa<br>(gram) | tekanan<br>(bar) | $\Delta$ massa<br>(gram) |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------|
| 0                | 8183            | 6.08             | 0                        |

|     |        |      |     |
|-----|--------|------|-----|
| 5   | 8182.5 | 6.08 | 0.5 |
| 10  | 8182   | 6.08 | 1   |
| 15  | 8181.5 | 6.08 | 1.5 |
| 20  | 8181.5 | 6.08 | 1.5 |
| 25  | 8181.5 | 6.08 | 1.5 |
| 30  | 8181   | 6.08 | 2   |
| 35  | 8181   | 6.1  | 2   |
| 40  | 8181   | 6.1  | 2   |
| 45  | 8181   | 6.12 | 2   |
| 50  | 8181   | 6.12 | 2   |
| 55  | 8181   | 6.12 | 2   |
| 60  | 8181   | 6.12 | 2   |
| 65  | 8181   | 6.12 | 2   |
| 70  | 8181   | 6.1  | 2   |
| 75  | 8181   | 6.1  | 2   |
| 80  | 8181   | 6.08 | 2   |
| 85  | 8181   | 6.08 | 2   |
| 90  | 8180.5 | 6.06 | 2.5 |
| 95  | 8180.5 | 6.02 | 2.5 |
| 100 | 8180.5 | 6.02 | 2.5 |
| 105 | 8180.5 | 6.02 | 2.5 |
| 110 | 8180.5 | 6    | 2.5 |
| 115 | 8180.5 | 5.96 | 2.5 |
| 120 | 8180.5 | 5.96 | 2.5 |
| 125 | 8180.5 | 5.92 | 2.5 |
| 130 | 8180.5 | 5.92 | 2.5 |
| 135 | 8180   | 5.9  | 3   |
| 140 | 8180   | 5.86 | 3   |
| 145 | 8180   | 5.82 | 3   |
| 150 | 8180   | 5.78 | 3   |

Tabel data katup jenis A dengan *rubber seal* hitam

| waktu (menit) | massa (gram) | tekanan (bar) | $\Delta$ massa (gram) |
|---------------|--------------|---------------|-----------------------|
| 0             | 8267.5       | 5.08          | 0                     |
| 5             | 8267         | 5.1           | 0.5                   |
| 10            | 8267         | 5.1           | 0.5                   |
| 15            | 8266.5       | 5.12          | 1                     |

|     |        |      |     |
|-----|--------|------|-----|
| 20  | 8266.5 | 5.12 | 1   |
| 25  | 8266.5 | 5.12 | 1   |
| 30  | 8266   | 5.12 | 1.5 |
| 35  | 8266   | 5.12 | 1.5 |
| 40  | 8266   | 5.12 | 1.5 |
| 45  | 8266   | 5.12 | 1.5 |
| 50  | 8266   | 5.12 | 1.5 |
| 55  | 8266   | 5.12 | 1.5 |
| 60  | 8266   | 5.12 | 1.5 |
| 65  | 8265.5 | 5.12 | 2   |
| 70  | 8265.5 | 5.12 | 2   |
| 75  | 8265.5 | 5.12 | 2   |
| 80  | 8265.5 | 5.12 | 2   |
| 85  | 8265.5 | 5.12 | 2   |
| 90  | 8265.5 | 5.12 | 2   |
| 95  | 8265.5 | 5.12 | 2   |
| 100 | 8265.5 | 5.12 | 2   |
| 105 | 8265.5 | 5.12 | 2   |
| 110 | 8265.5 | 5.12 | 2   |
| 115 | 8265.5 | 5.12 | 2   |
| 120 | 8265.5 | 5.12 | 2   |
| 125 | 8265.5 | 5.12 | 2   |
| 130 | 8265.5 | 5.12 | 2   |
| 135 | 8265   | 5.12 | 2.5 |
| 140 | 8265   | 5.12 | 2.5 |
| 145 | 8265   | 5.12 | 2.5 |
| 150 | 8265   | 5.12 | 2.5 |

Tabel data katup jenis A dengan *rubber seal* merah.

| waktu<br>(menit) | massa<br>(gram) | tekanan<br>(bar) | $\Delta$ massa<br>(gram) |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------|
| 0                | 8247.5          | 5                | 0                        |
| 5                | 8247            | 5                | 0.5                      |
| 10               | 8246.5          | 5                | 1                        |
| 15               | 8246            | 5                | 1.5                      |
| 20               | 8245.5          | 5                | 2                        |
| 25               | 8245.5          | 5                | 2                        |
| 30               | 8245            | 5                | 2.5                      |

|     |        |      |     |
|-----|--------|------|-----|
| 35  | 8244.5 | 5.02 | 3   |
| 40  | 8244.5 | 5.02 | 3   |
| 45  | 8244   | 5.02 | 3.5 |
| 50  | 8244   | 5.02 | 3.5 |
| 55  | 8243.5 | 5.02 | 4   |
| 60  | 8243.5 | 5.02 | 4   |
| 65  | 8243   | 5.02 | 4.5 |
| 70  | 8243   | 5.02 | 4.5 |
| 75  | 8243   | 5.02 | 4.5 |
| 80  | 8243   | 5.02 | 4.5 |
| 85  | 8242.5 | 5.02 | 5   |
| 90  | 8242.5 | 5.02 | 5   |
| 95  | 8242.5 | 5.04 | 5   |
| 100 | 8242.5 | 5.04 | 5   |
| 105 | 8242   | 5.04 | 5.5 |
| 110 | 8242   | 5.04 | 5.5 |
| 115 | 8242   | 5.04 | 5.5 |
| 120 | 8241.5 | 5.04 | 6   |
| 125 | 8241.5 | 5.04 | 6   |
| 130 | 8241.5 | 5.04 | 6   |
| 135 | 8241.5 | 5.04 | 6   |
| 140 | 8241   | 5.04 | 6.5 |
| 145 | 8241   | 5.04 | 6.5 |
| 150 | 8241   | 5.04 | 6.5 |

Tabel data katup jenis M dengan *rubber seal* merah.

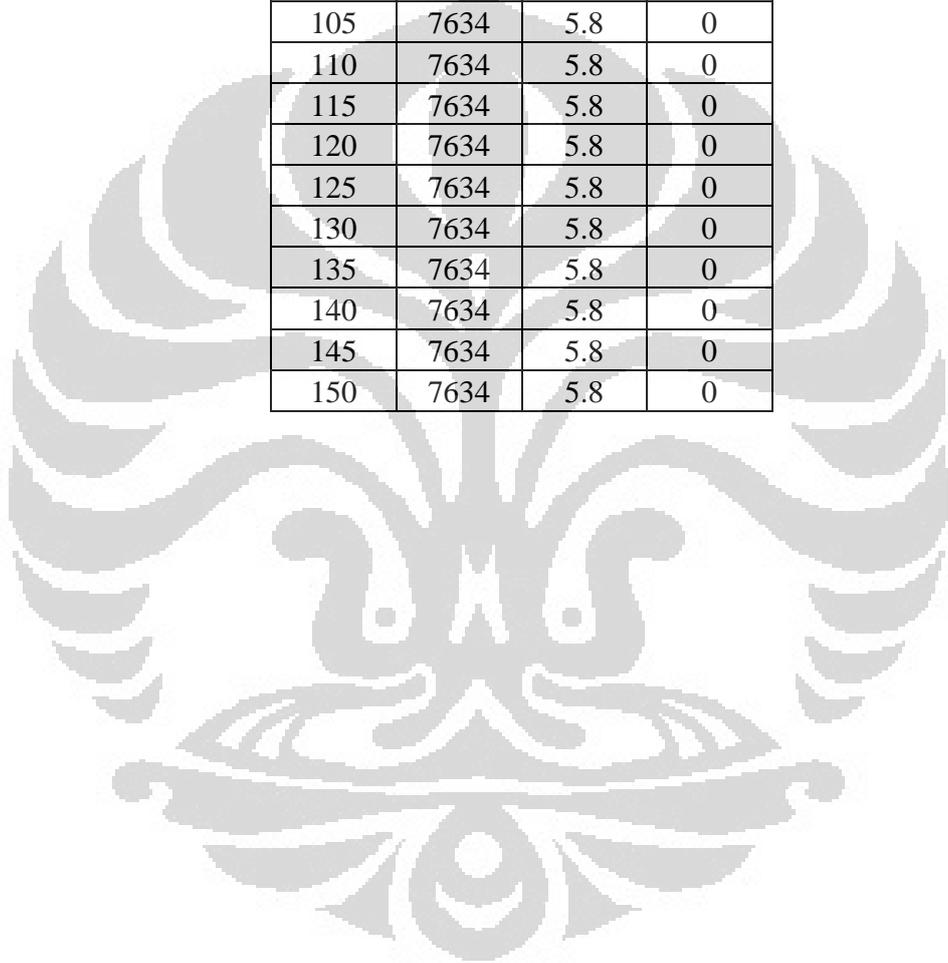
| waktu<br>(menit) | massa<br>(gram) | tekanan<br>(bar) | $\Delta$ massa<br>(gram) |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------|
| 0                | 7477.5          | 5.8              | 0                        |
| 5                | 7477            | 5.8              | 0.5                      |
| 10               | 7477            | 5.8              | 0.5                      |
| 15               | 7476.5          | 5.8              | 1                        |
| 20               | 7476.5          | 5.8              | 1                        |
| 25               | 7476.5          | 5.8              | 1                        |
| 30               | 7476            | 5.8              | 1.5                      |
| 35               | 7476            | 5.8              | 1.5                      |
| 40               | 7476            | 5.8              | 1.5                      |
| 45               | 7476            | 5.8              | 1.5                      |

|     |        |      |     |
|-----|--------|------|-----|
| 50  | 7476   | 5.8  | 1.5 |
| 55  | 7476   | 5.8  | 1.5 |
| 60  | 7475.5 | 5.8  | 2   |
| 65  | 7475   | 5.8  | 2.5 |
| 70  | 7475   | 5.8  | 2.5 |
| 75  | 7475   | 5.8  | 2.5 |
| 80  | 7475   | 5.8  | 2.5 |
| 85  | 7475   | 5.8  | 2.5 |
| 90  | 7474.5 | 5.8  | 3   |
| 95  | 7474.5 | 5.8  | 3   |
| 100 | 7474   | 5.8  | 3.5 |
| 105 | 7474   | 5.8  | 3.5 |
| 110 | 7474   | 5.8  | 3.5 |
| 115 | 7474   | 5.8  | 3.5 |
| 120 | 7473.5 | 5.78 | 4   |
| 125 | 7473.5 | 5.78 | 4   |
| 130 | 7473.5 | 5.78 | 4   |
| 135 | 7473.5 | 5.78 | 4   |
| 140 | 7473.5 | 5.78 | 4   |
| 145 | 7473.5 | 5.78 | 4   |
| 150 | 7473.5 | 5.78 | 4   |

Tabel data katup jenis M dengan *rubber seal* hitam.

| waktu<br>(menit) | massa<br>(gram) | tekanan<br>(bar) | $\Delta$ massa<br>(gram) |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------|
| 0                | 7634            | 5.8              | 0                        |
| 5                | 7634            | 5.8              | 0                        |
| 10               | 7634            | 5.8              | 0                        |
| 15               | 7634            | 5.8              | 0                        |
| 20               | 7634            | 5.8              | 0                        |
| 25               | 7634            | 5.8              | 0                        |
| 30               | 7634            | 5.8              | 0                        |
| 35               | 7634            | 5.8              | 0                        |
| 40               | 7634            | 5.8              | 0                        |
| 45               | 7634            | 5.8              | 0                        |
| 50               | 7634            | 5.8              | 0                        |
| 55               | 7634            | 5.8              | 0                        |
| 60               | 7634            | 5.8              | 0                        |

|     |      |     |   |
|-----|------|-----|---|
| 65  | 7634 | 5.8 | 0 |
| 70  | 7634 | 5.8 | 0 |
| 75  | 7634 | 5.8 | 0 |
| 80  | 7634 | 5.8 | 0 |
| 85  | 7634 | 5.8 | 0 |
| 90  | 7634 | 5.8 | 0 |
| 95  | 7634 | 5.8 | 0 |
| 100 | 7634 | 5.8 | 0 |
| 105 | 7634 | 5.8 | 0 |
| 110 | 7634 | 5.8 | 0 |
| 115 | 7634 | 5.8 | 0 |
| 120 | 7634 | 5.8 | 0 |
| 125 | 7634 | 5.8 | 0 |
| 130 | 7634 | 5.8 | 0 |
| 135 | 7634 | 5.8 | 0 |
| 140 | 7634 | 5.8 | 0 |
| 145 | 7634 | 5.8 | 0 |
| 150 | 7634 | 5.8 | 0 |



## Hasil Pengukuran Kebulatan

