

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

I Made Kartika Dhiputra<sup>a</sup>, Dea Adreanni<sup>b</sup>

<sup>a,b</sup>,*Flame and Combustion Research Group Thermodynamic Laboratory,*  
Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Indonesia  
Kampus Baru UI Depok 16424  
E-mail : *dhiputra\_made@yahoo.com*

### Abstrak

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

Penelitian mengenai *safety ball* pada regulator dilakukan dengan cara mengalirkan gas LPG melewati regulator yang memiliki bola gotri pada saluran keluarnya. Pengujian tersebut menggunakan gas LPG baik dalam keadaan tabung normal maupun tabung yang dimiringkan dengan kemiringan 90° secara vertikal. Regulator yang digunakan masing-masing memiliki besar lubang keluar regulator  $do = 3, 3.25$ , dan  $3.5$  mm atau diameter bola gotri  $6.3, 5$ , dan  $6$  mm secara berturut-turut. Hasil yang didapat ialah regulator  $do = 3$  mm dengan ukuran dan massa bola gotri yang lebih besar serta saluran keluar dan lubang keluar regulator yang lebih kecil dibandingkan regulator lainnya menghasilkan gaya *drag* pada bola gotri yang mencapai  $7.5 \times 10^5$  N pada laju aliran  $0.098$  L/s untuk keadaan tabung gas normal yang menyebabkan bola gotri menutup saluran keluar regulator. Persamaan drag bola pada sebuah saluran seperti pada penelitian ini dirumuskan oleh *Haberman-Sayre*. Sedangkan pada pengujian tabung gas dengan kemiringan 90° menunjukkan penutupan bola gotri dapat terjadi pada laju aliran yang lebih kecil yaitu  $0.070$  L/s. Penutupan bola gotri tersebut dapat menyebabkan *lock-up* pada regulator dan menyebabkan aliran gas menuju kompor terhenti sehingga api pada kompor akan padam. Hal ini menyulitkan masyarakat khususnya ketika penggunaan kompor dalam laju aliran tinggi. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, dapat dianalisa bahwa bola gotri pada regulator memiliki unjuk kerja yang berkaitan dengan geometri dan massa bola gotri, geometri dan performansi regulator, serta tekanan dan laju aliran gas yang melewati bola gotri tersebut.

**Keywords:** *safety ball*, bola gotri, regulator, *lock-up*

### Pendahuluan

Berdasarkan kebijakan pemerintah mengenai adanya konversi penggunaan minyak tanah menjadi gas LPG untuk kebutuhan rumah tangga, pemerintah telah membagikan komponen-komponen yang terkait dengan penggunaan gas LPG[1]. Pemerintah juga melakukan spesifikasi teknis serta mendukung kemampuan industri dalam negeri dalam penyediaan bahan baku kompor dan assesorisnya, sebagai contoh regulator gas LPG[2].

Beberapa regulator gas LPG yang diberikan oleh pemerintah dilengkapi dengan bola gotri atau *safety ball* pada bagian saluran keluarnya. Namun, tidak

pernah ada keterangan mengehai *safety ball* tersebut. Bahkan SNI 7369:2008 tentang standar regulator gas LPG[3] tidak memiliki informasi maupun sosialisasi tentang efek dan manfaat secara khusus pemakaian bola gotri tersebut. Secara sederhana, *safety ball* tersebut memiliki konstruksi sederhana dengan komponen berupa bola pada saluran keluar yang dapat menutup lubang saluran keluar.

Studi pustaka menunjukkan adanya hubungan antara saluran keluar yang tertutup dengan peristiwa “*lock-up*” pada regulator[4]. Berkaitan dengan hal itu, diperlukan penelitian yang berkaitan dengan *safety ball* atau bola gotri pada regulator tersebut.

## Landasan Teori

### Liquefied Petroleum Gas

Liquefied Petroleum Gas merupakan gas hidrokarbon yang dicairkan dengan tekanan untuk memudahkan penyimpanan, pengangkutan dan penanganannya yang pada dasarnya terdiri dari propana, butana, atau campuran keduanya. LPG merupakan salah satu hasil produksi dari destilasi minyak bumi atau proses pemisahan gas alam. LPG mempunyai bentuk gas dalam suhu kamar dan tidak mempunyai warna dan bau, titik didihnya  $-6.3^{\circ}\text{C}$  untuk Butana dan  $-42.2^{\circ}\text{C}$  untuk Propana. Gas LPG yang diberikan subsidi pemerintah memiliki komposisi propana dan butana sebesar 50:50[7].

### Regulator Tekanan Rendah LPG

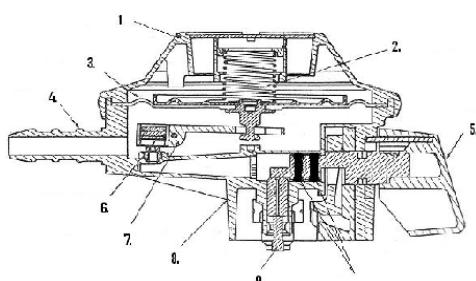
Berdasarkan SNI 7369:2008, regulator merupakan alat pengatur tekanan untuk tabung baja LPG yang berfungsi untuk menyalur dan mengatur serta menstabilkan tekanan gas yang keluar dari tabung baja LPG supaya aliran gas menjadi konstan. Pada gas LPG 3 kg dan 12 kg, digunakan regulator tekanan rendah dengan tekanan keluar maksimal 3 kPa. Beberapa contoh regulator yang dilengkapi dengan bola gotri terlihat pada Gb.1.



Gambar1. Beberapa contoh regulator yang dilengkapi bola gotri pada bagian keluarnya.

### Safety Ball (bola gotri)

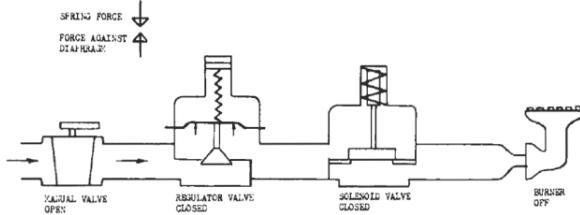
Secara sederhana, *safety ball* memiliki konstruksi sederhana dengan komponen berupa bola pada saluran keluar regulator (Gambar 2). Pada dasarnya, bola gotri berfungsi untuk mengukur tekanan di dalam dan di luar tabung sehingga dapat menutup aliran ketika terjadi bocor pada selang[5]. Namun, pada beberapa regulator, bola gotri ini dapat menutup saluran regulator pada laju aliran yang terlalu besar.



Gambar 2. Penampang regulator; (1)penutup

regulator,(2)pegas beban;(3)karet membran;(4)saluran keluar;(5)kunci pemutar;(6)bantalan katup;(7)penghubung mekanis;(8)badan regulator;(9)spindel katup;(10)cincin perapat[3]

Ketika suatu katup pengaman diberikan pada bagian keluaran regulator, katup pengaman yang tertutup menyebabkan tidak ada aliran gas yang keluar dari regulator dan menyebabkan tekanan yang menekan diafragma dan diikuti dengan penutupan katup regulator. Kondisi ini biasa disebut dengan *lock up*[4]. Skematik regulator saat terjadi “*lock-up*” terdapat pada Gambar 3. Katup pengaman *solenoid valve* pada gambar tersebut merupakan katup pengaman tambahan yang identik dengan bola gotri pada beberapa regulator gas LPG.



Gambar 3. Skematik regulator saat terjadi “*lock-up*”[4]

### Performansi regulator

Regulator dirancang untuk menghasilkan tekanan keluar konstan pada setiap laju aliran dan tekanan masuk. Hal ini dapat dilihat dalam grafik laju aliran yang bervariasi terhadap tekanan keluar regulator. Secara teoritis, regulator ideal akan menunjukkan tekanan yang konstan berapapun jumlah alirannya dari nol sampai maksimum. Tekanan keluar yang berkurang dikarenakan efek-efek yang terjadi selama aliran mengalir melalui regulator, yaitu efek pegas, efek diafragma dan efek badan regulator[4]. Bola gotri merupakan salah satu faktor efek badan yang ikut mempengaruhi tekanan keluar pada regulator.

### Aliran melewati sebuah bola

Aliran melewati sebuah bola berkaitan dengan bilangan Reynold dan mengikuti aturan Navier-stokes. Serta, komponen drag yang terdapat pada bola tersebut akibat aliran gas yang melewatinya.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (1)$$

Total gaya *drag* = *drag* tekanan + *drag* gesekan viskos fluida + *drag* interferensi + *drag* induksi.

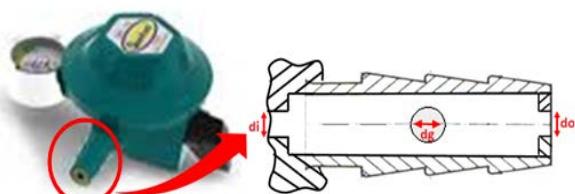
Pada benda bola, *drag* yang paling berpengaruh adalah *drag* tekanan. *Drag* tekanan adalah *drag* yang disebabkan oleh resistansi fluida untuk mengubah aliran yang mengisi ruang di belakang benda, sehingga menimbulkan perbedaan tekanan antara aliran *upstream* dan *downstream*. Nilai ini akan berhubungan dengan koefisien *Cd* dan besarnya gaya hambatan yang terjadi. Hubungan antara koefisien *Cd* dan bilangan Reynold sesuai dengan geometri benda yang dilewati.

Bola yang bergerak searah dengan aliran akan memiliki gaya hambatan nol. Hal ini akan dilewati setelah bola tersebut mengalami kecepatan terminalnya. Besarnya kecepatan aliran yang dapat menggerakan suatu bola pada keadaan bebas, memenuhi persamaan[8]:

$$Fd = \frac{6\pi\mu VR(1-0,75857(\frac{D}{R})^2)}{(1-2,1050(\frac{D}{R})+2,0865(\frac{D}{R})^2-1,7068((\frac{D}{R})^2+0,72603(\frac{P}{R})^4)} \quad (2)$$

## Metode Penelitian

Penelitian fungsi bola gotri pada regulator dilakukan dengan melakukan pengujian pada 3 jenis regulator yang memiliki saluran keluar dan komponen bola gotri dengan ukuran yang berbeda, yaitu regulator dengan diameter lubang keluar regulator 3, 3.25, dan 3.5 mm. Geometri saluran keluar regulator dan bola gotri terdapat pada tabel 1 yang sesuai dengan Gambar 4.



**Gambar 4.** Regulator yang digunakan pada penelitian dengan bola gotri pada bagian saluran keluarnya

**Tabel 1.** Geometri saluran keluar regulator dan bola gotri

| regulator | <i>do</i> (mm) | <i>D</i> (mm) | <i>di</i> (mm) | <i>m</i> (gr) |
|-----------|----------------|---------------|----------------|---------------|
| 1         | 3              | 6,3           | 4,6            | 1,06          |
| 2         | 3,25           | 6             | 5,25           | 0,89          |
| 3         | 3,5            | 5             | 4,6            | 0,52          |

Penelitian difokuskan terhadap keadaan tabung gas normal dan tabung gas dengan kemiringan  $90^\circ$ . Penelitian pada keadaan tabung gas normal dilakukan untuk melihat adanya hubungan antara laju aliran dengan tekanan keluar pada regulator. Percobaan ini dilakukan pada regulator dengan bola gotri dan regulator tanpa bola gotri dengan cara mengalirkan gas LPG melewati regulator pada laju aliran tertentu, kemudian mencatat tekanan keluar regulator dan perubahan massa atau laju aliran massa yang terjadi. Sehingga, berdasarkan hasil percobaan didapat perbedaan tekanan pada daerah sebelum dan sesudah bola gotri. Termometer dipasang pada saluran keluar regulator sebagai data tambahan untuk mengetahui besarnya densitas dan viskositas aliran LPG dengan bantuan software REFPROP. Percobaan dengan kemiringan

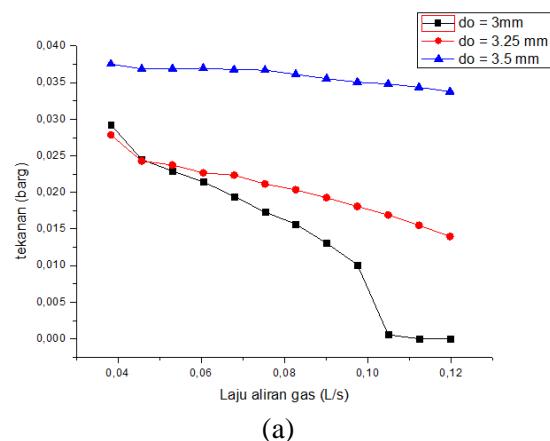
tabung gas  $90^\circ$  berfungsi untuk mendapatkan unjuk kerja bola gotri pada keadaan tersebut, khususnya ketika saluran keluar regulator dipenuhi oleh campuran gas-cairan LPG. Langkah-langkah dan jenis data yang diambil sama dengan percobaan pertama. Skema pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.



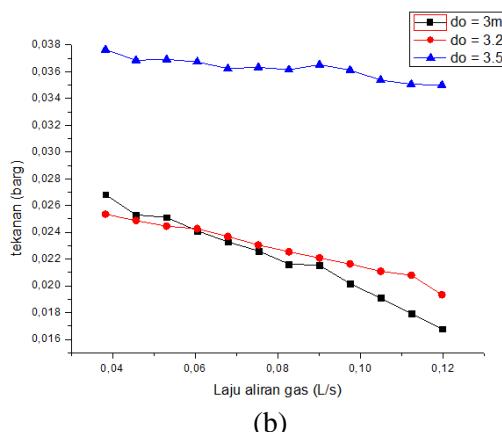
**Gambar 5.** Skema pengujian hubungan antara laju aliran dengan tekanan keluar regulator; (1)Tabung gas LPG 3 kg; (2)Regulator; (3)Pressure transducer; (4)Pressuremeter; (5)Termokopel; (6)Termometer digital; (7)Data akuisisi RS232; (8)Komputer; (9)Rotameter; (10)Timbangan; (11)Bunsen burner

## Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian terhadap regulator  $do = 3$  mm,  $do = 3.25$  mm dan  $do = 3.5$  mm, peningkatan laju aliran akan diikuti dengan penurunan tekanan luar yang dihasilkan. Regulator dengan diameter lubang keluar  $do = 3$  mm dan diameter bola gotri sebesar 6.3 mm dapat menimbulkan lock up pada regulator ketika laju aliran yang mengalir pada Bunsen burner 0.098 L/s atau laju aliran massa sebesar 0.208 gr/s. Sedangkan pada kedua regulator lainnya, laju aliran yang tinggi tidak akan menyebabkan bola gotri menutup lubang saluran regulator. Hal ini terlihat pada grafik hubungan antara laju aliran dengan tekanan keluar pada regulator dengan dan tanpa bola gotri (Gambar 6).



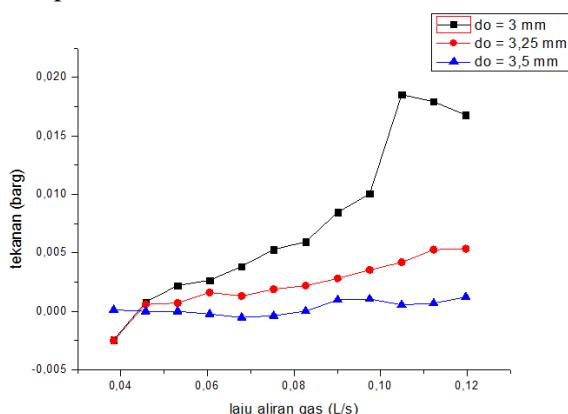
(a)



(b)

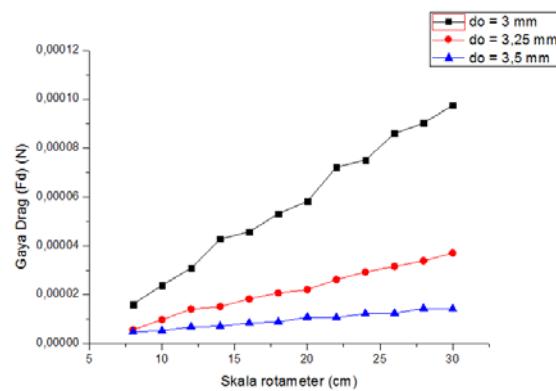
**Gambar 6.** Hubungan antara laju aliran yang menuju *Bunsen burner* dengan tekanan keluar regulator;(a) dengan bola gotri; (b) tanpa bola gotri pada saluran keluarnya.

Proses bola gotri yang menutup dan menyebabkan regulator *lock up* pada regulator  $do = 3$  mm dibuktikan dengan adanya perbedaan tekanan pada daerah sebelum dan sesudah bola gotri. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 7.



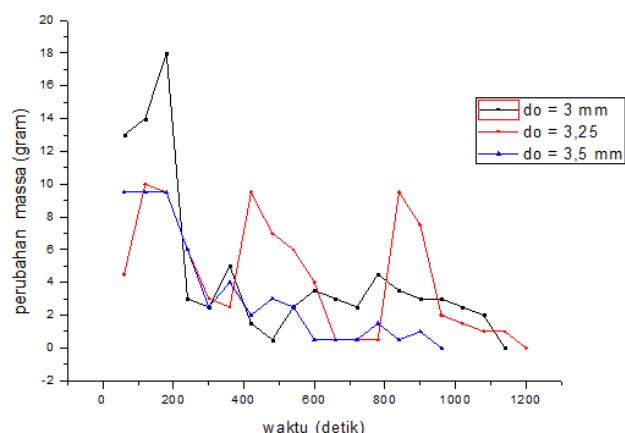
**Gambar 7.** Hubungan antara laju aliran perbedaan tekanan pada daerah sebelum dan sesudah bola gotri

Hasil percobaan ini sesuai dengan perhitungan analisis gaya *Drag* yang dibuat, dimana aliran pada regulator  $do = 3$  mm memiliki gaya *Drag* atau gaya seret yang lebih besar dibandingkan dengan dua regulator lainnya. Perhitungan ini didasarkan pada persamaan linear laju aliran massa yang didapatkan dari eksperimen. Gaya seret yang besar dapat menyebabkan bola gotri menutup saluran keluar regulator sehingga regulator akan *lock up*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 8.

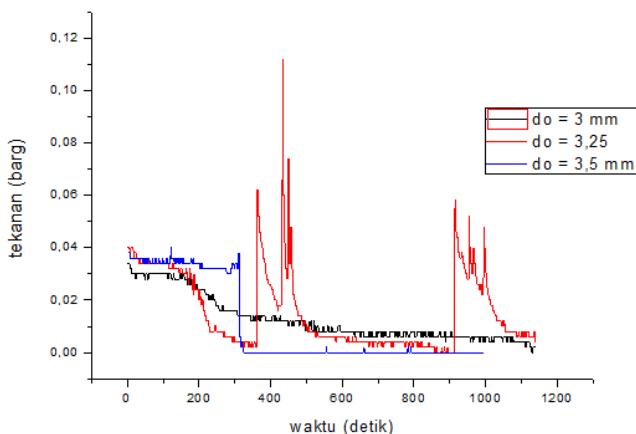


**Gambar 8.** Hubungan antara skala rotameter yang diuji dengan gaya *drag* yang ditimbulkan

Percobaan kedua dilakukan dengan memiringkan tabung gas dalam keadaan  $90^\circ$  dari keadaan vertikal. Hasilnya adalah pada skala rotameter 16.5 cm atau sekitar laju aliran 0.070 l/s, regulator  $do = 3$  mm mengalami *lock up*. Kemudian pada laju aliran yang sama, regulator  $do = 3.5$  mm, akan mengalami *lock up* setelah  $\pm 20$  menit. Hasil ini sebanding dengan keadaan regulator  $do = 3$  mm yang memiliki diameter lubangmasuk regulator yang sama dengan  $do = 3.5$  mm yaitu 4,6 mm. Sedangkan pada regulator  $do = 3.25$  mm, regulator tidak akan mengalami *lock up*, namun perubahan massa dan tekanan gas yang keluar dari regulator menunjukkan nilai yang naik-turun. Hubungan ini dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



**Gambar 9.** Hubungan antara waktu dan perubahan massa pada kemiringan tabung  $90^\circ$



**Gambar 10.** Hubungan antara waktu dan tekanan keluar regulator pada kemiringan tabung  $90^0$

## Kesimpulan

Bola gotri atau *safety ball* pada regulator dapat menimbulkan *lock up* regulator pada laju aliran gas yang tinggi, yaitu regulator  $do = 3 \text{ mm}$ , baik pada keadaan tabung gas normal maupun tabung gas dengan  $90^0$  terdapat vertikal. Hal ini disebabkan regulator  $do = 3 \text{ mm}$  memiliki ukuran dan massa bola gotri yang lebih besar serta saluran keluar dan lubang keluar regulator yang lebih kecil sehingga gaya drag atau seret yang dihasilkan mencapai  $7.5 \times 10^{-5} \text{ N}$  pada laju aliran diatas  $0.098 \text{ L/s}$  pada keadaan tabung gas normal. Sedangkan pada pengujian tabung gas dengan kemiringan  $90^0$ , regulator  $do = 3 \text{ mm}$  akan mengalami *lock-up* pada laju aliran diatas  $0.070 \text{ L/s}$ . Secara garis besar dapat disimpulkan bahwa unjuk kerja bola gotri berkaitan dengan diameter dan massa bola gotri, geometri dan performansi regulator, tekanan, dan besarnya laju aliran gas LPG yang mengalir ke kompor.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penutupan bola gotri ketika regulator terpasang, dapat menyulitkan pengguna catu bahan bakar kompor gas LPG. Oleh karena itu, sebaiknya perlu diberikan standar aturan yang berkaitan dengan bola gotri yang terpasang pada regulator, khususnya bagi industri penyedia dan pabrikasi regulator tekanan rendah gas LPG.

## Ucapan Terima kasih

Penelitian ini dibiayai melalui Hibah Riset Utama UI 2012, untuk itu kami ucapan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Universitas Indonesia. Demikian juga terima kasih kepada para mahasiswa S2 dan S1 sebagai anggota maupun pembantu peneliti di Laboratorium *Flame and Combustion Research Group Thermodynamic Laboratory*.

## Nomenklatur

|       |  |
|-------|--|
| $F_d$ | gaya <i>drag</i> (N)                               |
| $C_d$ | koefisien <i>drag</i>                              |
| $V$   | kecepatan aliran (m/s)                             |
| $d_i$ | diameter lubang masuk saluran keluar regulator(mm) |
| $D$   | diameter bola gotri (mm)                           |
| $H$   | diameter saluran kemuar regulator (mm)             |
| $do$  | diameter lubang keluar regulator (mm)              |
| $m$   | massa bola gotri (gr)                              |
| $A$   | luas permukaan bidang alir ( $\text{m}^2$ )        |
| $Re$  | bilangan Reynolds                                  |

## Greek Letters

|        |  |
|--------|--|
| $\mu$  | viskositas dinamik ( $\text{Ns/m}^2$ ) |
| $\rho$ | massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ ) |

## Referensi

- [1] FAQ-Pertamina Gasdom, <<http://www.w3.org/1999/xhtml>>
- [2] Departemen ESDM. *Program Pengalihan Minyak Tanah ke LPG Blueprint*. Indonesia, Jakarta, 2007.
- [3] Badan Standardisasi Nasional (2008). SNI 7369:2008 Regulator Tekanan Rendah. Jakarta
- [4] Mally, E. C. 1963. *Gas Appliance Regulator*. Gas Appliance Handbook. Central Chapter National Gaes Award. Section 3.
- [5] Taufan, Arike M (Agustus, 2010). General Serve Pertamina Surakarta. Harian Joglo Semar (10 agustus 2010). Bau Gas Elpiji Dipertajam. <<http://www.harianjoglosemar.com>>
- [6] White, Frank M. 2001. *Fluid MechanicsFourth Edition*. McGraw-Hill Companies
- [7] Mahlan, Taufik. "LPG Tekanannya Kurang". *Kompasiana* 13 Juli 2011. <<http://teknologi.kompasiana.com/terapan/2011/07/13/lpg-tekanannya-kurang/>>
- [8] Haberman, W. L, Sayre, R. M., 1958. David Taylor Model Basin, Report No. 1143, Washington D.C., U.S. Navy Dept.