

STUDI EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK ALIRAN DUA FASA GAS LPG TERKAIT FENOMENA VAPOR LOCK PADA SISTEM CATU BAHAN BAKAR KOMPOR GAS

I Made Kartika Dhiputra^a, Karyadi Gunawan^b

^{a,b},*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

Fenomena sumbatan uap (*Vapor Lock*) pada selang LPG merupakan salah satu penyebab terjadinya kebakaran dan ledakan pada sistem kompor gas. Sumbatan uap tersebut sangat mudah terjadi jika aliran LPG di sepanjang selang lebih banyak dalam fasa cair. Salah satu cara untuk mencegah mengalirnya LPG dalam fasa cair ke selang kompor gas adalah dengan menambahkan swirling nozzle pada regulator tekanan rendah yang dipasang sebelum selang bahan bakar. Dalam paper ini akan disampaikan hasil penelitian pendahuluan yang terkait dengan fenomena *Vapor Lock* tersebut, khususnya difokuskan pada karakterisasi aliran LPG sepanjang selang bahan bakar yang terbuat dari pipa akrilik setelah melewati regulator dengan diameter keluarannya yang berbeda-beda yaitu LPG 3 mm, 3.25 mm, dan 3.5 mm. Karakteristik aliran gas LPG yang ingin diamati yaitu perubahan tekanan, temperatur, kecepatan, densitas, dan laju perubahan massa di sepanjang pipa akrilik khususnya fenomena aliran dua fasa. Dari penelitian ini membuktikan bahwa hasil perhitungan dari data eksperimental maupun hasil perhitungan simulasi menunjukkan bahwa semakin jauh jarak pipa pada aliran LPG, maka besarnya nilai parameter: tekanan, densitas, dan laju aliran massa LPG semakin menurun serta temperatur dan volume spesifik semakin meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi fenomena *Vapor Lock* sepanjang aliran LPG pada selang bahan bakar.

Keywords: Fenomena *Vapor Lock*, karakteristik aliran LPG, regulator tekanan rendah, aliran dua fasa, *swirling nozzle*

Pendahuluan

Realisasi program pemerintah tentang konversi penggunaan bahan bakar minyak tanah menjadi bahan bakar gas LPG untuk keperluan rumah tangga, dimana pemerintah telah membagikan secara gratis komponen-komponen yang diperlukan dalam menggunakan kompor gas LPG, antara lain yaitu tabung gas (3 kg), seal, selang, regulator, kompor, dan juga sosialisasi cara pemakaian kompor gas LPG secara benar dan aman, maka dapat dikatakan bahwa program pemerintah tersebut sukses secara kuantitas dalam zona daerah konversi yang telah ditargetkan.

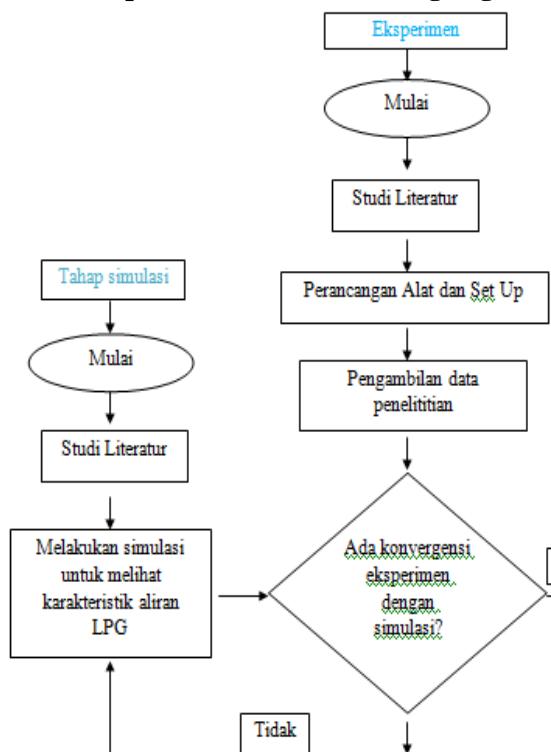
Budaya pemakaian kompor LPG sangat cepat berkembang, tidak hanya untuk kebutuhan rumah tangga saja, melainkan juga kebutuhan memasak bagi masyarakat pada umumnya, seperti para penjual makanan keliling maupun warung makanan pinggiran sudah menggunakan kompor gas LPG ini. Namun, resiko bahaya kebakaran dalam menggunakan bahan bakar gas LPG (3kg) ini masih sangatlah tinggi, baik karena faktor kesalahan manusia maupun akibat kesalahan konstruksi (*Brain ware*, *Hard ware*, *Soft ware*) yang masih sulit dihindari. Walaupun pemerintah telah membuat dan menetapkan standar-standar khusus setiap komponen pendukung dari penggunaan kompor gas LPG, seperti tabung gas

LPG, katup tabung gas LPG, seal karet perapat, selang, dan regulator, yang seharusnya terdapat logo SNI (*Standar Nasional Indonesia*), namun, di pasaran masih banyak terdapat komponen yang berbeda ukuran maupun spesifikasi teknis dan kualitas antara komponen sejenis yang semestinya berlogo SNI yang sama. Dalam tulisan ini akan disampaikan data awal tentang karakteristik aliran dua fase pada saluran pipa akrilik, terkait fenomena *Vapor lock* yang terjadi baik sepanjang saluran gas LPG maupun terjadi pada regulator (*lock up*), akibat pemakaian jenis regulator yang berbeda, yaitu pada diameter keluaran regulator menuju selang. keluarannya berbeda yaitu 3,0 mm, 3,25 mm, dan 3,5 mm dengan no. SNI yang sama. Dari perbedaan diameter tersebut, akan terjadi perbedaan laju aliran massa gas LPG sesuai beban pembakaran (*Burning Load*) yang dirancang.

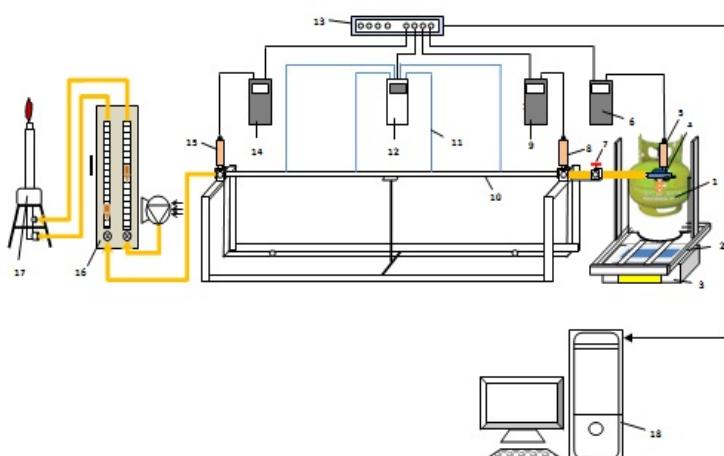
Pada proses aliran isotermik gas satu fase (gas ideal) sepanjang pipa akan terjadi kerugian tekanan (*pressure drop*) yang nilai tetap konstan sepanjang waktu untuk setiap nilai laju aliran massa yang konstan, sebagaimana Osborne Reynolds menyatakan bahwa penurunan tekanan tergantung pada parameter: kerapatan(ρ), kecepatan aliran(U), diameter saluran (D) dan viskositas dinamis fluida yang mengalir (μ). Sedangkan pada penelitian ini, terjadi hal berbeda,

yaitu proses aliran non adiabatic gas LPG (2 fase) dengan bukaan katup pengatur (*control valve*) yang dijaga konstan selama proses aliran, ternyata laju aliran massa sepanjang pipa akrilik semakin lama semakin berkurang akibat terjadinya fenomena *Vapor Lock*, sehingga untuk memastikan fenomena tersebut terjadi maka parameter karakteristik aliran gas LPG yang ingin diamati yaitu perubahan tekanan, temperature, kecepatan, densitas, dan laju perubahan massa di sepanjang pipa akrilik. Analisa yang digunakan yaitu berdasarkan hasil data eksperiment¹ akan diverifikasi dengan data hasil perhitungan analisa simulasi .

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan



Blok diagram sistematika penulisan



Keterangan:

1. Tabung LPG 3 Kg
2. Dudukan Tabung LPG 3 Kg
3. Timbangan Digital
4. Regulator Tekanan Rendah
5. Pressure Transducer 1 (10 bar)
6. Pressure Meter 1

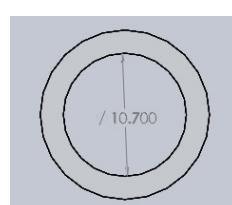
10. Pipa Acrylic
11. Thermocouple
12. Thermometer Digital
13. Converter
14. Pressure Meter 3
15. Pressure Transducer 3 (2 bar)
16. Rotameter
17. Bunsen Burner
18. Unit Komputer

Set up alat simulasi

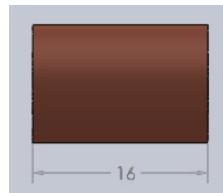
Pendekatan simulasi diawali dengan pembangunan model sistem nyata. Model tersebut harus dapat menunjukkan bagaimana berbagai komponen dalam sistem saling berinteraksi sehingga benar-benar menggambarkan perilaku sistem. Setelah model dibuat maka model tersebut ditransformasikan ke dalam program komputer sehingga memungkinkan untuk disimulasikan. Gambar kerja dilakukan dengan menggunakan *software Solid Work 2012*. Untuk melihat bagaimana karakteristik aliran LPG di sepanjang pipa akrilik, maka gambar kerja yang dibuat hanya sebatas di sepanjang pipa akrilik. Pipa akrilik ini terdapat pengecilan diameter pada ujung-ujungnya. Hal ini disebabkan adanya sambungan pada ujung-ujung pipa akrilik tersebut. Karena penelitian ini difokuskan untuk melihat bagaimana karakteristik aliran LPG di sepanjang pipa akrilik, maka untuk gambar kerja dan simulasi yang dilakukan juga hanya di sepanjang pipa akrilik. Simulasi tidak dilakukan untuk komponen-komponen lainnya.



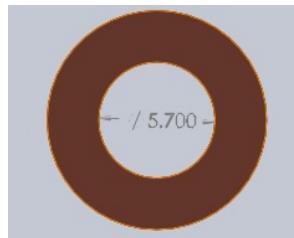
Gambar 3.12 Dimensi panjang keseluruhan pipa akrilik



Gambar 3.13 Dimensi diameter dalam pipa akrilik



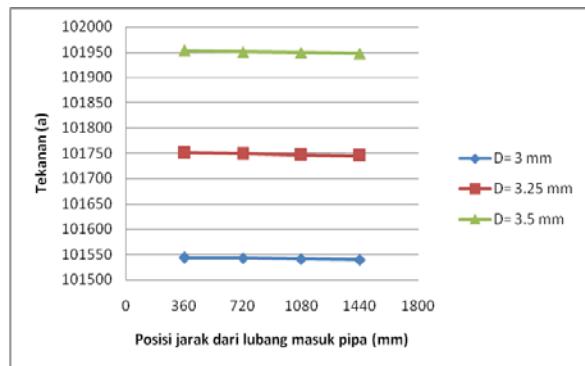
Gambar 3.14 Dimensi panjang sambungan pada ujung-ujung pipa akrilik



Gambar 3.15 Dimensi diameter dalam pipa sambungan pada ujung-ujung pipa akrilik

Dimensi pada gambar kerja memiliki satuan mm. Untuk melakukan simulasi diperlukan adanya data dari eksperimen sebagai input untuk simulasi aliran. Data-data yang diperlukan dari eksperimen untuk simulasi aliran adalah laju perubahan massa, temperatur dan tekanan. Setelah memasukkan data inputan, maka akan dilanjutkan dengan tahap iterasi hingga selesai dan kita dapat melihat bagaimana karakteristik aliran gas LPG di sepanjang aliran tersebut.

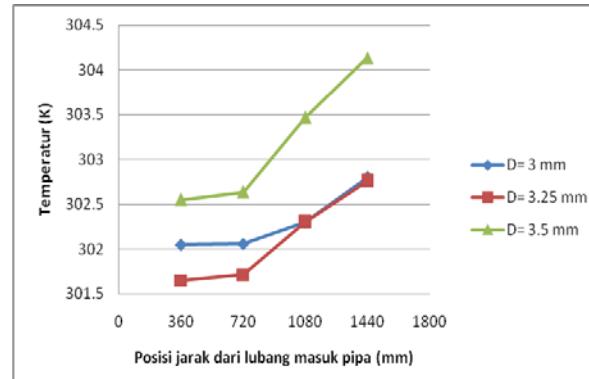
Hasil dan Pembahasan



Grafik perbandingan tekanan terhadap jarak di sepanjang pipa dengan diameter regulator 3 mm, 3.25 mm, dan 3.5 mm

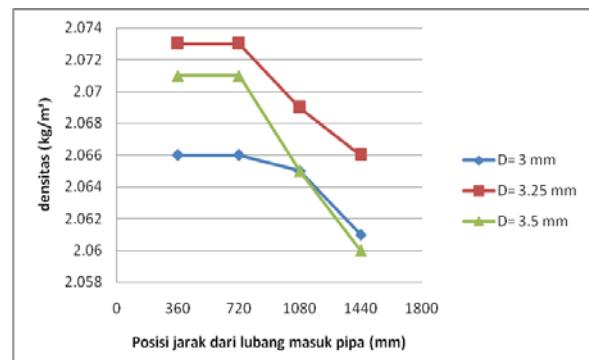
Pada grafik perbandingan tekanan dengan diameter regulator yang berbeda pada simulasi dapat kita lihat bahwa tekanan menurun di sepanjang aliran pipa. Semakin jauh jarak pada pipa maka tekanan semakin menurun pula. Hal ini sesuai dengan data eksperimen yang ada. Tekanan di sepanjang pipa dengan menggunakan diameter regulator 3.5 mm ini lebih besar dibanding dengan regulator 3 mm dan 3.25 mm. Hal ini dikarenakan, dengan menggunakan

diameter regulator yang lebih besar, tekanan yang keluar dari tabung menjadi semakin besar pula karena laju perubahan massa yang lebih besar.



Grafik perbandingan temperatur terhadap jarak di sepanjang pipa dengan diameter regulator 3 mm, 3.25 mm, dan 3.5 mm

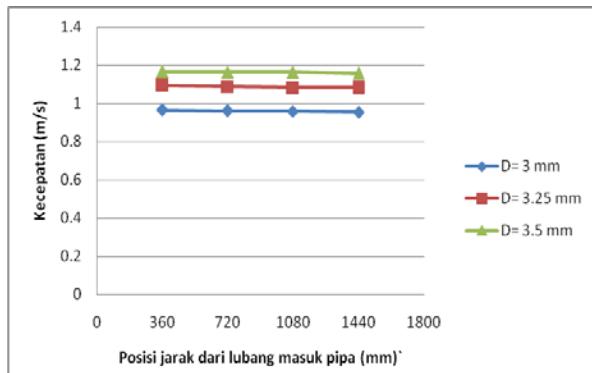
Distribusi temperatur pada simulasi dapat kita lihat bahwa temperatur meningkat di sepanjang aliran pipa. Semakin jauh jarak pada pipa maka temperatur semakin meningkat pula. Hal ini sesuai dengan data eksperimen yang ada. Akan tetapi pada diameter regulator 3.25 mm temperatur awalnya di bawah temperatur diameter regulator. Hal ini kemungkinan dipengaruhi karena pada regulator 3,25 mm sangat sensitif sehingga temperaturnya di bawah regulator 3 mm dan 3,5 mm. Namun kecenderungan yang terjadi semakin jauh jaraknya temperaturnya semakin meningkat. Temperatur berbanding lurus terhadap posisi jarak dari lubang masuk pipa, dimana semakin besar diameter keluaran regulator maka semakin tinggi pula temperaturnya.



Grafik perbandingan densitas terhadap jarak di sepanjang pipa dengan diameter regulator 3 mm, 3.25 mm, dan 3.5 mm

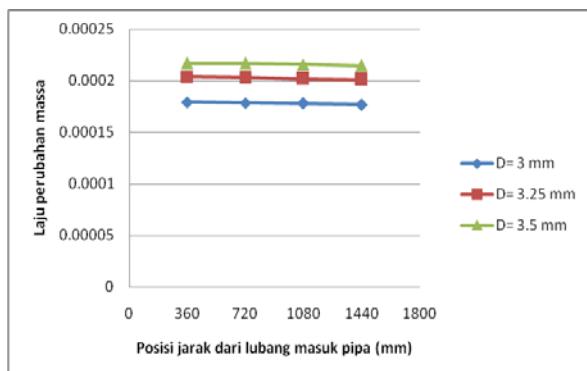
Distribusi densitas pada simulasi dapat kita lihat bahwa densitas menurun di sepanjang aliran pipa. Semakin jauh jarak pada pipa densitas semakin menurun pula. Hal ini dipengaruhi oleh temperatur, semakin tinggi temperatur di sepanjang pipa, maka densitas semakin menurun. Namun, densitas paling besar terdapat pada regulator dengan diameter keluaran 3.25 mm dan densitas paling kecil pada

diameter 3 mm. Hal ini disebabkan oleh pengaruh temperatur diameter regulator 3.25 mm temperature awalnya di bawah temperature diameter regulator. Hal ini kemungkinan dipengaruhi karena pada regulator 3,25 mm sangat sensitif sehingga temperaturnya di bawah regulator 3 mm dan 3,5 mm sehingga mempengaruhi densitas. Semakin besar diameter keluaran regulator, semestinya densitas juga semakin besar.



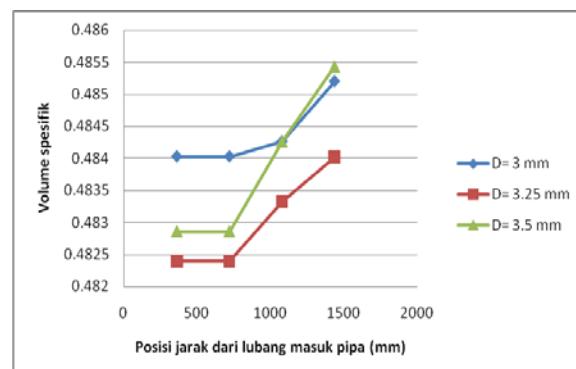
Grafik perbandingan kecepatan terhadap jarak di sepanjang pipa dengan diameter regulator 3 mm, 3.25 mm, dan 3.5 mm

Distribusi kecepatan pada simulasi dapat kita lihat bahwa kecepatan menurun di sepanjang aliran pipa. Semakin jauh jarak pada pipa maka kecepatan semakin menurun pula. Namun hal ini tidak terjadi pada kondisi pengecilan pipa secara mendadak. Penurunan ini terjadi dikarenakan adanya pembesaran diameter tiba-tiba. Pada saat diameter pipa mengecil maka kecepatan akan semakin besar pula. Hal ini dikarenakan kecepatan berbanding terbalik terhadap luas penampang. Semakin kecil luas penampang pipa maka kecepatan semakin tinggi. Akan tetapi, kecepatan di sepanjang pipa dengan menggunakan diameter regulator 3.5 mm ini lebih cepat dibanding diameter regulator 3 mm dan 3.25 mm. Hal ini disebabkan karena laju aliran massa lebih besar sehingga kecepatan lebih besar pula.



Grafik perbandingan laju perubahan massa terhadap jarak di sepanjang pipa dengan diameter regulator 3 mm, 3.25 mm, dan 3.5 mm

Distribusi laju aliran massa pada simulasi dapat kita lihat bahwa laju aliran massa menurun di sepanjang aliran pipa. Semakin jauh jarak pada pipa maka laju aliran massa semakin menurun pula. Hal ini dipengaruhi oleh temperatur, densitas, dan kecepatan. Pada dasarnya, laju perubahan masuk akan sama dengan laju perubahan massa yang keluar. Namun, tidak dalam penelitian yang dilakukan kali ini. Hal ini disebabkan oleh adanya kemungkinan sumbatan uap/vapour lock, dimana pada saat fluida mengalir terjadi hambatan atau titik stagnasi sehingga laju perubahan massa menjadi menurun. Dari gambar 4.50 kita melihat bahwa semakin jauh jarak pada pipa akrilik, maka laju perubahan massa semakin menurun. Titik stagnasi atau tempat dimana terjadinya sumbatan uap/vapour lock maksimum terletak pada jarak pipa akrilik yaitu 1440 mm. Untuk penjelasan yang lebih mendetail, hal ini diteliti oleh teman tim riset Laboratorium Termodinamika Flame And Combustion Research Group yang lain yaitu tentang fenomena sumbatan uap/vapour lock yang terjadi di sepanjang pipa akrilik



Grafik perbandingan volume spesifik terhadap jarak di sepanjang pipa dengan diameter regulator 3 mm, 3.25 mm, dan 3.5 mm

Distribusi volume spesifik pada simulasi dapat kita lihat bahwa volume spesifik meningkat di sepanjang aliran pipa. Semakin jauh jarak pada pipa maka volume spesifik semakin meningkat pula. Volume spesifik merupakan kebalikan dari densitas fluida. Dimana semakin besar densitas, maka volume spesifik semakin kecil dan sebaliknya.

Kesimpulan

- Hasil perbandingan dari eksperimen dan simulasi, menunjukkan adanya kecenderungan yang sama.
- Semakin jauh jarak pipa pada aliran fluida, maka tekanan, densitas, dan laju perubahan massa semakin menurun.
- Semakin jauh jarak pipa pada aliran fluida, maka temperatur dan volume spesifik semakin meningkat

4. Semakin besar laju perubahan massa yang diikuti dengan semakin besarnya diameter regulator, maka *Reynolds Number*, *Mach Number*, densitas, viskositas dinamik, dan kecepatan semakin meningkat.
5. Semakin kecil laju perubahan massa yang diikuti dengan semakin mengecilnya diameter regulator, maka massa dari tabung LPG semakin lama habisnya.
6. Aliran yang terjadi di sepanjang pipa adalah aliran transisi karena *Reynolds Number* lebih besar dari 2100.

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*.

Referensi

- Collier, J.G., 1977, *Single phase and Two-Phase Flow Behaviour in Primary Circuit Components*, dalam Kakac (Ed), *Two Phase Flow and Heat Transfer*, Washington, Hemisphere Publishing Corporation.
- Karyono, Iwan Yudi (2008), *Analisa Aliran Berkembang Penuh Dalam Pipa*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Muhajir, Khairul (2009). *Karakterisasi Aliran Fluida Gas-Cair Melalui Pipa Sudden Contraction*, Jurnal Teknologi Vol. 2, No.2
- Sumarli (2008). *Pola aliran dan penurunan tekanan pada aliran dua fase gas-cair melewati pengecilan pipa secara mendadak*, Teknologi dan Kejuruan, Vol. 31, No.1
- Young, D.F., Munson, B.R., dan Okiishi, T.H. 2004. *Fundamentals of Fluid Mechanics* Fourth Edition. New York: John Wiley & Sons. In