

# Analisis Karakteristik Panjang Slug Aliran Dua Fasa Akuades Dan Hidrogen Pada *Microchannel*

Betty Florensia Sinaga, Made Sucipta, Made Suarda, dan Deendarlianto  
*Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali*

## Abstrak

*Dalam teknologi transportasi hidrogen yang terbatas membutuhkan metode penyimpanan yang efisien. Transportasi hidrogen memerlukan metode aliran dua fasa agar dapat meningkatkan efisiensi sistem. Penelitian transportasi hidrogen ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik aliran dua fasa antara hidrogen dan fluida Newtonian berupa larutan akuades. Microchannel adalah salah satu teknologi mikro dengan salurannya yang berukuran kecil, yang mampu memberikan kontrol terhadap aliran fluida dan dapat memfasilitasi aliran hidrogen dengan efisien. Variabel yang akan dianalisis dalam penelitian ini adalah variasi kecepatan superfisial likuid ( $j_L$ ) dengan rentang 0,1 hingga 1 m/s serta kecepatan superfisial gas ( $j_G$ ) antara 0,67 hingga 13,3 m/s. Panjang slug pada bagian upstream lebih panjang dibandingkan pada bagian downstream dikarenakan adanya perubahan saluran ekspansi.*

*Kata kunci: Transport hidrogen, aliran dua fasa, microchannel, pola aliran.*

## Abstract

*in hydrogen transportation technology, storage limitations require efficient storage methods. Hydrogen transport requires a two-phase flow method to improve system efficiency. This hydrogen transport study aims to analyze the characteristics of two-phase flow between hydrogen and a Newtonian fluid (akuades). A microchannel is one of the micro technologies with small channels that can provide control over fluid flow and facilitate hydrogen flow efficiently. The variables analyzed in this study are the variations of superficial liquid velocity ( $j_L$ ) in the range of 0.1 to 1 m/s and superficial gas velocity ( $j_G$ ) between 0.67 and 13.3 m/s. From these variations, flow patterns such as bubbly flow, slug flow, slug-annular flow, and churn flow were observed at the same  $j_L$  and  $j_G$  values. The longer slug length observed in the upstream region compared to the downstream is attributed to the sudden expansion in the microchannel.*

*Keywords: hydrogen transport, two-phase flow, microchannel, flow pattern.*

## 1. Pendahuluan

Hidrogen merupakan unsur yang paling melimpah di dunia, ditemukan di matahari, di udara, dan di tubuh kita sendiri [1]. Meskipun hidrogen telah ada sejak awal terbentuknya alam semesta, kini popularitasnya meningkat sebagai bahan bakar masa depan yang menjanjikan tanpa emisi karbon yang dapat membantu meminimalkan dampak perubahan iklim [2]. Hidrogen dapat dibakar dalam mesin pembakaran internal dan dapat menghasilkan listrik dalam *fuel cell* yang mampu mengubah energi yang tersimpan dalam hidrogen menjadi listrik melalui reaksi elektrokimia dengan oksigen. Panas, listrik, dan air adalah produk dari hidrogen yang digunakan dalam *fuel cell*, tidak seperti bahan bakar fosil yang digunakan dalam mesin yang mengeluarkan karbon dioksida, gas rumah kaca, dan partikel lainnya [3].

Hidrogen mudah terbakar seperti bahan bakar lainnya karena memiliki kepadatan energi volumetrik yang rendah, ditambah dengan ukuran molekulnya yang sangat kecil, ini membuatnya rentan terhadap kebocoran, walaupun partikel-partikel tersebut akan cepat menghilang [4]. Sehingga tantangan utama dalam penggunaan hidrogen sebagai bahan bakar adalah proses penyimpanan dan transportasinya yang

sulit untuk disimpan dalam jumlah besar dan didistribusikan secara efisien.

Konsep tentang transportasi hidrogen dapat menggunakan metode aliran dua fasa untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi sistem. Aliran dua fasa didefinisikan sebagai dua fasa yang mengalir secara bersamaan, dengan variasi wujud fluida campuran cair-gas, gas-padat, dan cair-padat [5]. Aliran dua fasa penting untuk dipelajari lebih lanjut karena dalam aplikasinya praktis, terutama dalam sistem energi terintegrasi [6]. Aliran dua fasa menggunakan hidrogen sebagai fluida gas, dan fluida cairnya menggunakan Newtonian berupa akuades.

Akuades merupakan fluida Newtonian yang viskositasnya konstan terhadap perubahan laju geser. Dengan demikian, penggunaan akuades memberikan dasar yang kuat untuk memahami perilaku aliran dua fasa secara lebih sederhana dan terkontrol. Disamping itu, perbedaan kecepatan superfisial gas dan cair juga mempengaruhi fenomena aliran yang terjadi, yang akan berdampak pada karakteristik aliran. Hal ini ditemukan dalam aplikasi seperti sambungan perpipaan pada pembangkit listrik, reaktor kimia, dan pabrik petrokimia.

Teknologi yang sedang dikembangkan untuk mengatasi tantangan ini salah satunya adalah

penggunaan *microchannel*. Dalam proses memfasilitasi aliran hidrogen, saluran berukuran kecil (*microchannel*) dapat memberikan aliran dengan lebih efisien, kontrol aliran yang lebih baik, dan dapat meningkatkan perpindahan massa dan panas dalam proses transportasi [10]. Penerapan teknologi mikro banyak dibutuhkan dalam berbagai bidang, seperti pada bidang bioteknologi, farmasi, dan teknologi pendinginan.

Dalam penelitian ini akan dilakukan kajian eksperimental transportasi hidrogen untuk menganalisis karakteristik aliran dua fasa antara hidrogen dan fluida Newtonian seperti larutan akuades, dan akan diuji karakteristiknya sebagai media transportasi hidrogen. Penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sistem transportasi hidrogen yang lebih baik di masa depan.

## 2. Dasar Teori

### 2.2 Panjang Slug

Pada penelitian aliran dua fasa dengan *microchannel* ini melakukan pengamatan terhadap panjang *slug* yang terbentuk dari semua variasi pola aliran. Perhitungan *slug* dapat dilakukan dengan cara berikut ini:

1. *Slug nose* dan *slug tail* terletak pada *frame* yang sama, sehingga menggunakan persamaan berikut:

$$L_s = |Y_n - Y_t| \left( \frac{W_{M,a}}{W_{M,p}} \right) \quad (2.1)$$

di mana,

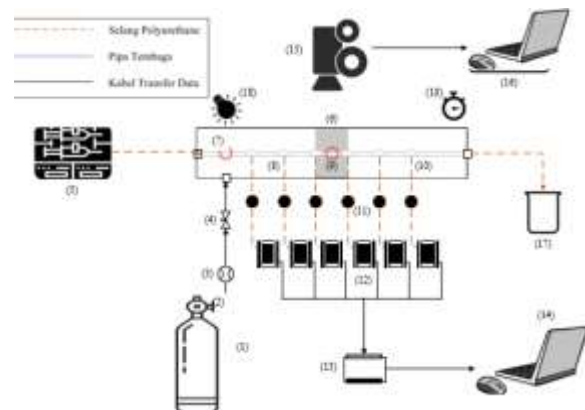
- $L_s$  = Panjang *slug* (m)
- $Y_n$  = Koordinat sumbu y *slug nose* (piksel)
- $Y_t$  = Koordinat sumbu y *slug tail* (piksel)
- $W_{M,a}$  = Lebar aktual *microchannel* (m)
- $W_{M,p}$  = Lebar *microchannel* pada software PCC 3.8 (piksel)

## 3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan *microchannel* berpenampang persegi dengan variasi ukuran yang berbeda, berdiameter hidraulik  $0,5 \times 0,5$  mm pada bagian *upstream* dengan ukuran *sudden expansion* berdiameter hidraulik  $0,8 \times 0,5$  mm pada bagian *downstream* sebagai saluran uji. Fluida kerja gas yang digunakan adalah Hidrogen dan fluida kerja cair yang digunakan adalah fluida Newtonian berupa akuades. *High speed camera* pada penelitian ini digunakan untuk merekam pola aliran dua fasa dengan menggunakan bantuan aplikasi PCC 3.8

### 3.1 Skema Pnelitian

Pada Gambar 3.1 merupakan skema penelitian yang digunakan.



Gambar 3.1 Skema Penelitian

Keterangan dari Gambar 3.1 diatas adalah sebagai berikut :

1. Tabung gas hidrogen
2. Regulator tabung gas hidrogen
3. Flow meter
4. Double needle valve
5. Syringe pump
6. Microfluidic chip
7. Bagian t-junction
8. Bagian downstream
9. Sudden expansion
10. Bagian upstream
11. Differential Pressure Tap
12. Differential pressure transducer
13. Lampu LED
14. Laptop
15. High speed camera
16. Laptop high speed camera
17. Gelas beker
18. Lampu
19. Stop Watch

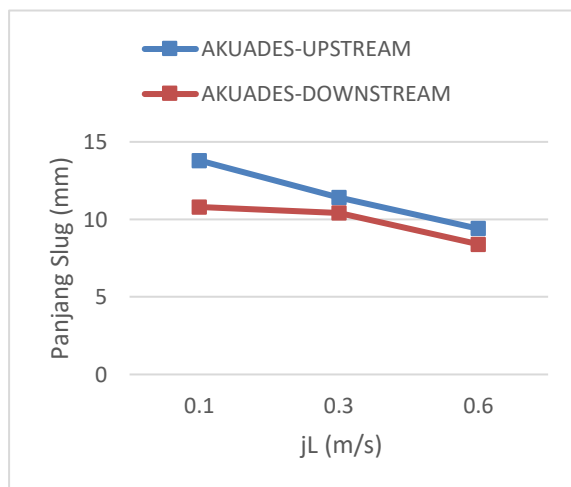
Skema instalansi ditunjukkan pada Gambar 3. Tabung hidrogen (1) digunakan untuk menyimpan gas hidrogen yang kemudian akan dialirkan ke dalam *microfluidic chip*. *Flow meter* (3) digunakan untuk mengatur debit gas. Untuk debit cairan uji diatur dengan *syringe pump* (5). Sebelum memasuki daerah percampuran pada *microfluidic chip* (6) yang berbentuk *T-junction* (7), hidrogen akan melewati pipa kapiler. Debit gas hidrogen diukur dengan menggunakan *flow meter* (3) yang terpasang sebelum memasuki *microchannel* (6). Katup *double needle* (4) dipasang pada saluran gas hidrogen, sebelum memasuki tempat percampuran untuk mengatur aliran simultan dari cairan dan gas hidrogen yang memasuki tempat percampuran. Kemudian gas hidrogen dan cairan uji bertemu pada *T-junction* pada *microchannel* (6), sehingga terjadi aliran dua fasa pada saluran *microchannel*. Pola aliran yang terjadi akan direkam menggunakan *high speed camera* (15), dan tekanan

aliran diukur menggunakan DPT (12). Hasil dari rekaman high speed camera (15) akan diamati melalui laptop (16). Untuk DPT akan diteruskan ke data logger (13) dan disambungkan dengan laptop (14).

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1 Panjang Slug

Untuk mengetahui pengaruh *sudden expansion* terhadap panjang *slug*, maka akan menganalisis panjang *slug* pada bagian *upstream* maupun *downstream* saluran. Pada Gambar 4.1 grafik perbandingan panjang di bagian *upstream* dan *downstream* saluran terhadap kecepatan superfisial cairan ( $j_L$ ).



**Gambar 4.1** Perbandingan panjang *slug* terhadap  $j_L$  kondisi  $j_G = 2,67$  m/s pada bagian *upstream* dan *downstream microchannel*

Panjang slug di bagian *upstream* memiliki *slug* yang lebih panjang dibandingkan bagian *downstream*. Hal ini dikarenakan adanya *sudden expansion* (perubahan luas peampang) yang menyebabkan *slug* menjadi lebih pendek di bagian *downstream*. Penambahan kecepatan superfisial gas ( $j_G$ ) dan kecepatan superfisial cair ( $j_L$ ) dapat mengakibatkan *slug* menjadi lebih panjang. Hal tersebut terjadi karena semakin tinggi kecepatan superfisial gas, saluran akan lebih didominasi oleh fasa gas yang menyisakan ruang lebih sedikit untuk fasa cair. Sehingga, *slug* menjadi memanjang seiring dengan peningkatan kecepatan superfisial gas.

#### 5. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian, analisis karakteristik pola aliran dua fasa fluida Newtonian akuades dan hidrogen pada *microchannel* dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Panjang *slug* akan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kecepatan superfisial gas ( $j_G$ ).

#### Ucapan Terima kasih

kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Udayana atas pendanaan penelitian skema Riset Kampus Merdeka (MBKM) sesuai dengan kontrak Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Penelitian Nomor B/266.40/UN14.4.A/PT.01.03/2024

#### Daftar Pustaka

- [1] Wojciech Grochala, "First was hydrogen," *Nat Chem*, vol. 7, no. March, p. 643, 2015.
- [2] J. Dufour, D. P. Serrano, J. L. Gálvez, A. González, E. Soria, and J. L. G. Fierro, "Life cycle assessment of alternatives for hydrogen production from renewable and fossil sources," *Int J Hydrogen Energy*, vol. 37, no. 2, pp. 1173–1183, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.ijhydene.2011.09.135.
- [3] L. Fan, Z. Tu, and S. H. Chan, "Recent development of hydrogen and fuel cell technologies: A review," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 8421–8446, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.egy.2021.08.003.
- [4] D. A. Crowl and Y.-D. Jo, "The hazards and risks of hydrogen," *J Loss Prev Process Ind*, vol. 20, no. 2, pp. 158–164, Mar. 2007, doi: 10.1016/j.jlp.2007.02.002.
- [5] M. Barreto, "Jurnal Internasional Aliran Multifase," vol. 72, pp. 1–10, 2015.
- [6] Arif Yunizar Nugraha, Rudy Soenoko, and Slamet Wahyudi, "Pemodelan dan Verifikasi Aliran Dua Fase (Air-Udara) di Belokan 90 0," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 5, no. 3, pp. 225–238, 2014.
- [7] J. Němeček, P. Trávníček, V. Zacharda, V. Pommer, and J. Němeček, "Correlation of viscosimetry and practical tests of fresh cement paste consistency," 2021, p. 020038. doi: 10.1063/5.0042721.
- [8] M. H. Mansour, A. Kawahara, and M. Sadatomi, "Experimental investigation of gas-non-Newtonian liquid two-phase flows from T-junction mixer in rectangular microchannel," *International Journal of Multiphase Flow*, vol. 72, pp. 263–274, Jun. 2015, doi:10.1016/j.ijmultiphaseflow.2015.02.019.
- [9] X. Yang *et al.*, "Effect of shear-thinning of non-Newtonian fluid on the crossover from capillary fingering to viscous fingering in porous media," *Phys Lett A*, vol. 449, p.

128364, Oct. 2022, doi:  
10.1016/j.physleta.2022.128364.

- [10] S. V Gokhale, R. K. Tayal, V. K. Jayaraman, B. D. Kulkarni, and V. K. Jayaraman, "International Journal Of Chemical Reactor Engineering Microchannel Reactors: Applications and Use in Process Development Microchannel Reactors: Applications and Use in Process Development," vol. 3, 2005.
- [11] Y. Zhao, G. Chen, C. Ye, and Q. Yuan, "Gas-liquid two-phase flow in microchannel at elevated pressure," *Chem Eng Sci*, vol. 87, pp. 122–132, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.ces.2012.10.011.



**Betty Florensia Sinaga**  
melanjutkan studi di Program Sarjana Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2021. Bidang penelitian yang diminati adalah konversi energi yang kemudian di tekuni sebagai topik penelitian tugas akhir.