

Jenis Artikel: *orginal research*

Analisis Pengaruh Viskositas pada *Self-Siphon*

Nurhayati ^{1,5}, Sparisoma Viridi ^{2, 4, 6}, dan Freddy Permana Zen ^{3, 4, 6}

¹Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh;

²Fisika Nuklir dan Biofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam;

³Fisika Teoretik Energi Tinggi dan Instrumentasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam;

⁴Indonesia Center for Theoretical and Mathematical Physics (ICTMP);

⁵Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry Banda Aceh;

⁶Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132, Indonesia.

Corresponding e-mail: nurhayati.sururi@ar-raniry.ac.id

KATA KUNCI:

Viskositas, *self-siphon*, hukum Newton, metode Euler, dinamika sistem

ABSTRAK. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh nilai viskositas terhadap terjadinya aliran fluida pada *self-siphon* secara simulasi. Simulasi dilakukan dengan mempertimbangkan gaya-gaya yang bekerja pada *single fluid volume element* (SFVE). Persamaan gerak pada masing-masing segmen diselesaikan dengan menerapkan hukum Newton. Persamaan-persamaan diselesaikan secara numerik dengan metode Euler. Parameter fisika yang divariasikan dalam simulasi adalah nilai viskositas fluida, karena viskositas mempengaruhi aliran fluida dalam pipa. Berdasarkan penelitian, nilai viskositas fluida η berpengaruh pada dinamika sistem (yang digambarkan oleh kurva terjadinya aliran fluida) namun tidak signifikan pada diameter yang berbeda. Pada nilai viskositas η yang besar, diperlukan panjang pipa yang tercelup dalam fluida (L) yang besar pula. Besarnya panjang pipa L akan memperbesar nilai tekanan hidrostatik sehingga terjadi aliran pada *self-siphon*.

Diserahkan: 07 Desember 2017

Direvisi: 08 Desember 2017

Diterbitkan 17 Januari 2018

Terbitan daring: 17 Januari 2018

1. Pendahuluan

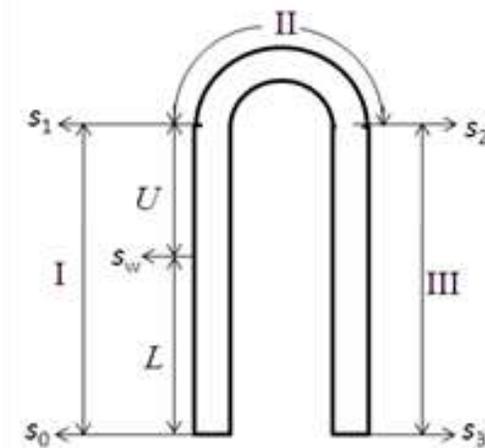
Self-siphon adalah suatu pipa yang dapat mengalirkan fluida secara aktif yang dapat berbentuk \cap dan \cup (Viridi dkk., 2014). Pipa *self-siphon* bekerja dengan memanfaatkan perbedaan tekanan dan energi potensial gravitasi (A. Richert dan P. M. Binder, 2011). Beberapa percobaan telah dilakukan untuk mengamati terjadinya aliran air pada *self-siphon* yang disertai dengan pemodelannya (Masterika dkk., 2011), simulasi dengan menggunakan dinamika molekuler (Viridi. S dkk., 2011) serta eksperimen dan simulasi dalam memprediksi terjadinya aliran air dalam konfigurasi *self-siphon* tersegmentasi (Viridi. S dkk., 2011). Penelitian lain diantaranya adalah pemodelan aliran fluida pada segmen 1 (Nurhayati dkk., 2012), model dinamika SFVE dengan pendekatan analitik serta konfirmasi eksperimen dan numerik untuk konstruksi ruang kerja parameternya (Nurhayati dkk., 2013), simulasi aliran fluida dan ruang kerjanya (Nurhayati dkk., 2014), serta konsep-konsep yang berpengaruh pada aliran fluida di dalam pipa *self-siphon* (Potter dan Barnes, 1971), (Planinsic dan Slisko, 2010), (Hughes, 2011), (Nanayakkara, 2012) dan (Hughes, 2011).

Berbagai parameter yang berpengaruh dalam aliran fluida pada *self-siphon* juga telah diteliti. Diantaranya adalah diameter pipa *self-siphon* dan perbandingan panjang pipa yang tercelup dalam reservoir pada segmen 1. Diameter pipa *self-siphon* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap aliran fluida sedangkan perbandingan panjang pipa yang terletak di bawah fluida dalam reservoir (L) dengan panjang pipa yang terletak di atas fluida dalam reservoir (U) lebih berpengaruh dalam terjadinya aliran (Nurhayati, 2014). Perkembangan terakhir adalah mengenai aplikasi *self-siphon* yang diterapkan untuk sumur geotermal dan desain *self-siphon* pada proses pemurnian bioetanol (Nurhayati, 2015).

Dalam penelitian ini, akan dipaparkan mengenai pengaruh nilai viskositas dalam aliran fluida secara simulasi pada *self-siphon* berbentuk \cap .

2. Metode

Dinamika aliran fluida pada *siphon* telah dipelajari pada penelitian sebelumnya dengan mempertimbangkan gaya-gaya yang bekerja pada SFVE (Nurhayati dkk., 2014). Koordinat *siphon* dalam sistem- s ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Sistem koordinat- s pada siphon (Nurhayati dkk., 2015).

dengan s_w , s_0 , s_1 , s_2 , s_3 , U , dan L secara berturut-turut adalah posisi permukaan fluida dalam kontainer, posisi awal segmen I, posisi akhir segmen I/posisi awal segmen II, posisi akhir segmen II/posisi awal segmen III, posisi akhir segmen III, panjang pipa bagian atas dari segmen I, dan panjang pipa bagian bawah segmen I (Nurhayati, 2015).

Selanjutnya dengan menggunakan hukum II Newton, persamaan gerak dari SFVE pada segmen I didefinisikan seperti di bawah ini:

$$\ddot{s} = -C_1\dot{s} - C_0s - C \tag{1}$$

dimana

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{c\eta}{m} \\ C_0 &= \frac{\rho g A}{m} \\ C &= -\frac{\rho g A}{m} s_w + g = -C_0 s_w + g \end{aligned} \tag{2}$$

Pada segmen II (segmen lengkung), SFVE mengalami pergerakan melingkar sehingga

$$\begin{aligned} & s - \left(\frac{c\eta}{m} \right) \dot{s} + \left(\frac{\rho g A}{m} \right) (s - s_w) \\ & - g \left[\cos \left(\frac{s - s_1}{R} \right) - \left(\frac{\rho A}{m} \right) R \sin \left(\frac{s - s_1}{R} \right) \right] = 0 \end{aligned} \tag{3}$$

dimana

$$\begin{aligned} C_1 &= -\frac{c\eta}{m} \\ C_0 &= -g \cos \left(\frac{s - s_1}{R} \right) - \left(\frac{\rho A}{m} \right) R \sin \left(\frac{s - s_1}{R} \right) \\ C &= C_0 (s_w - s_1) \end{aligned} \tag{4}$$

Pada segmen III, SFVE bergerak lurus vertikal seperti pada segmen I.

$$\ddot{s} = \frac{c\eta}{m} \dot{s} + \frac{\rho g A}{m} s - \frac{\rho g A}{m} s_w - g \tag{5}$$

dimana

$$\begin{aligned} C_1 &= -\frac{c\eta}{m} \\ C_0 &= \frac{\rho g A}{m} \\ C &= \frac{\rho g A}{m} s_w + g = -C_0 s_w + g \end{aligned} \tag{6}$$

Persamaan gerak pada segmen II ialah persamaan diferensial orde dua tak linear tak homogen yang sangat sulit untuk dipecahkan (Gitterman, 2010). Sehingga persamaannya diselesaikan secara numerik menggunakan metode Euler.

Persamaan gerak untuk setiap segmen didefinisikan dengan

$$q = \frac{df}{dt} \tag{7}$$

Solusi numerik dapat didekati menggunakan persamaan

$$f(t + \Delta t) = f(t) + q(t)\Delta t \tag{8}$$

Pada segmen I, dimana $s_0 \leq s \leq s_1$, persamaan (1) dapat ditulis dalam bentuk persamaan kecepatan seperti:

$$v(t + dt) = v(t)(1 - C_1 dt) - (C_0 s + C)dt \tag{9}$$

Pada segmen II, dimana $s_1 \leq s \leq s_2$, persamaan (3) dapat ditulis dalam bentuk persamaan kecepatan seperti:

$$v(t + dt) = v(t)(1 + C_1 dt) + (C_0 + C')dt \tag{10}$$

Pada segmen III, dimana $s_2 \leq s \leq s_3$, persamaan (5) dapat ditulis dalam bentuk persamaan kecepatan seperti:

$$v(t + dt) = v(t)(1 - C_1 dt) + (-C_0 s - C)dt \tag{11}$$

Persamaan posisi disetiap segmen adalah sama, yang mana dapat ditulis sebagai

$$s(t + dt) = s(t) + v(t)dt \tag{12}$$

Kondisi awal saat $t = 0$, posisi awal memenuhi $S(0) = S_0$.

Selanjutnya, parameter fisika lain yang digunakan dalam simulasi ditampilkan dalam **Tabel 1**.

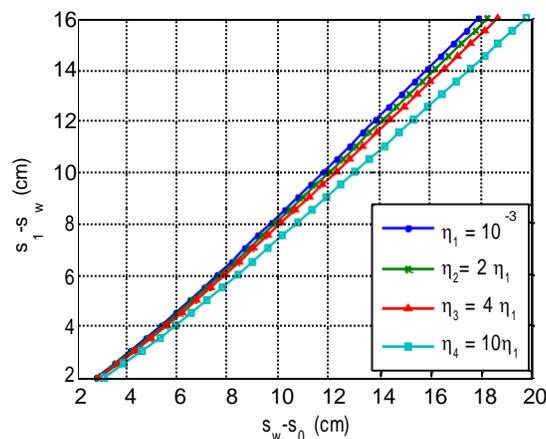
Penelitian ini dilakukan dengan simulasi menggunakan bahasa pemrograman Matlab dengan beberapa parameter fisika seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Parameter Fisika yang Digunakan dalam Simulasi

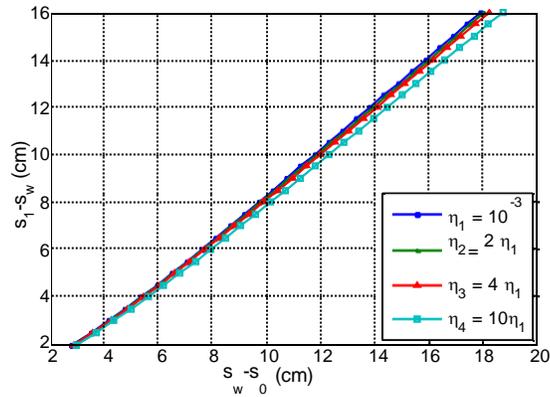
| Parameter | Nilai |
|---|---|
| Percepatan gravitasi g (m/s ²) | 9.78 |
| Nilai ρ (kg/m ³) | 10 ³ |
| Variasi nilai viskositas η (N.s/m ²) | 10 ⁻³ , 2×10 ⁻³ , 4×10 ⁻³ , dan 10 ⁻² |
| Waktu t (s) | 10 ⁻⁷ |
| SFVE (m) | 10 ⁻⁴ |
| s_w (m) | 0.5 |
| Diameter pipa bagian dalam d (mm) | 4 |

3. Hasil dan Pembahasan

Viskositas η merupakan parameter yang menarik untuk diteliti karena dinamika fluida bergantung pula pada parameter tersebut. Pada penelitian ini, disimulasikan untuk diameter 4 mm dan 6 mm, dengan nilai ρ tetap dan nilai η yang bervariasi untuk menganalisis pengaruhnya terhadap dinamika sistem yang direpresentasikan pada Gambar 2 dan 3. Pada simulasi ini dicobakan pada batas antara aliran yang terjadi pada segmen II dan segmen III.



Gambar 2. Grafik terjadinya aliran pada batas segmen II and III untuk ρ 1000 kg/m³, diameter dalam pipa 4 mm, dan variasi nilai η yaitu 10^{-3} N. s/m² (—), 2×10^{-3} N. s/m² (—), 4×10^{-3} N. s/m² (—), dan 10^{-2} N. s/m² (—).



Gambar 3. Grafik terjadinya aliran pada batas segmen II and III untuk ρ 1000 kg/m³, diameter dalam pipa 6 mm, dan variasi nilai η yaitu 10^{-3} N. s/m² (—), 2×10^{-3} N. s/m² (—), 4×10^{-3} N. s/m² (—), dan 10^{-2} N. s/m² (—).

Terlihat bahwa untuk dapat mengalirkan fluida pada batas tinggi yang sama $s_1 - s_w$ (U), pada nilai viskositas yang besar memerlukan panjang pipa yang tercelup di dalam reservoir $s_w - s_0$ (L) yang lebih besar dari pada nilai viskositas yang rendah. Hal ini dibuktikan dengan kemiringan grafik pada sumbu x - y yang semakin miring. $s_w - s_0$ (L) bernilai paling besar pada nilai viskositas terbesar yaitu 10^{-2} dan $s_w - s_0$ (L) bernilai paling kecil pada nilai viskositas terkecil yaitu 10^{-3} . Nilai L yang besar pada viskositas yang besar akan menghasilkan tekanan hidrostatis yang besar sehingga self-siphon mampu mengalirkan fluida.

4. Kesimpulan

Perbedaan nilai viskositas η dari fluida berpengaruh pada dinamika sistem (yang digambarkan oleh kurva terjadinya aliran fluida) namun tidak signifikan pada diameter yang berbeda. Pada nilai viskositas yang besar, diperlukan panjang pipa yang tercelup dalam fluida (L) yang besar pula. Besarnya panjang pipa L akan memperbesar nilai tekanan hidrostatis sehingga terjadi aliran pada self-siphon. Parameter lain seperti rapat massa ρ perlu diuji untuk mengetahui pengaruhnya terhadap dinamika sistem pada self-siphon.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada Laboratorium Gelas Institut Teknologi Bandung yang telah membantu dalam proses pembuatan *self-siphon*.

Keterlibatan Penulis

Nurhayati melakukan percobaan mengamati pengaruh nilai viskositas terhadap terjadinya aliran fluida pada *self-siphon* secara simulasi. Sparisoma Viridi merumuskan gaya-gaya yang bekerja pada *single fluid volume element* (SFVE). Freddy Permana Zen merumuskan persamaan gerak pada masing-masing segmen dengan menerapkan hukum Newton.

Daftar Pustaka

- A. Richert and P. -M. Binder. 2011. *Phys. Teach.* 49: 78-80.
 Gitterman, M. 2010. *The Chaotic Pendulum*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 11.
 Hughes, S. W. 2010. *A Practical Example of A Siphon at Work. Physics Education.* 45: 162.
 Hughes, S. W. 2011. *The Secret Siphon. Physics Education.* 46: 298.

- Masterika, F. 2011. *Eksperimen Aliran Fluida Menggunakan Self Siphon*. Tesis Magister Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Masterika, F., Novitrian, dan Viridi, S. 2010. Self-Siphon Exsperiments and Its Mathematical Modelling Using Parametric Equation. *Proceeding of the Third International Conference on Mathematics and Natural Sciences*. p. 608.
- Nanayakkara, N. W. K. T. R. dan Rosa, S. R.D. 2012. Revisiting the Physics behind Siphon Action. *Proceedings of the Technical Sessions*. 28: 106.
- Nurhayati, Anjar Purba Asmara, dan Sparisoma Viridi. 2015. Rancangan Alat Distilasi dengan Mengaplikasikan Self siphon pada Pemurnian Bioetanol Menggunakan Zeolit. *Simposium Nasional Inovasi Pembelajaran Sains 2015 (SNIPS 2015)* (in review).
- Nurhayati, S. Viridi, F. P. Zen, F. D. E. Latief, Novitrian, dan W. Hidayat. 2014. Pengaruh Diameter Pipa dan Perbandingan Panjang Pipa yang Tercelup di Dalam Fluida Pada Sifon Menggunakan Single Fluid Volume Element (SFVE), *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Kimia dan Sains Program Studi Pendidikan Kimia FKIP Unsyiah 2014*. Vol.1. 143-152.
- Nurhayati, W. Hidayat, Novitrian, F. D. E. Latief, S. Viridi, and F. P. Zen. 2013. Model Dinamika Elemen Volume Air pada Self-Siphon dengan Pendekatan Analitik serta Konfirmasi Eksperimen dan Numerik untuk Konstruksi Ruang Kerja Parameternya. *Prosiding Simposium Nasional Inovasi Pembelajaran Sains 2013*. edited by A. Purqon et al. Bandung. Indonesia. 3-4 July 2013. pp. 180-183.
- Nurhayati, W. Hidayat, Novitrian, S. Viridi, and F. P. Zen. 2014. Simulation of Fluid Flow in a U-Shape Self-Siphon and its Working Space. *The 4th International Conference on Mathematics and Natural Sciences -2012*, edited by M. Djamel et al. *AIP Conference Proceedings 1589 American Institute of Physics*. Melville. NY. pp. 95-98.
- Nurhayati, W. Hidayat, S. Viridi, and F. P. Zen. 2012. Pemodelan Aliran Fluida dalam Pipa Lurus Vertical Bagian dari Sifon Menggunakan Dinamika Newton. *Prosiding Simposium Nasional Inovasi Pembelajaran Sains 2012*. edited by F. D. E. Latief et al. Bandung. Indonesia. 7-8 June 2012. pp. 65-69.
- Planinsic, G. dan Slikso, J. 2010. *The Pulley Analogy Does Not Work for Every Siphon*. *Physics Education*. 45: 356.
- Potter, A. dan Barnes, F. H. 1971. *The Siphon*. *Physics Education*. 6: 362.
- Viridi, S, Novitrian, Nurhayati, W. Hidayat, F. D. E. Latief, and F. P. Zen. 2014. Development Of Single Fluid Volume Element Method For Simulation Of Transient Fluid Flow In Self-Siphons. *AIP Conference Proceedings 1615 American Institute of Physics*. pp. 199-207.
- Viridi, S., Suprijadi., Khotimah, S. N., Novitrian, dan Masterika, F. 2011. Self-Siphon Simulation Using Molecular Dynamics Method. *Recent Development in Computer Science*. 2: 9.
- Viridi, S., Novitrian, Masterika, F., Hidayat W., dan Zen, F. P. 2011. Segmented Self Siphon: Experiments and Simulations. In *The 5th International Conference on Research and Education in Mathematics*, Edited By E. T. Baskoro et. al. *AIP Conference Proceedings*. 1450: 190.