

## Visualisasi Pola Aliran Dua Fase pada Pipa Vertikal Sistem *Airlift Pump*

Nurmala Dyah Fajarningrum<sup>1\*</sup>, M. Fendy Kussuma Hadi Sufyan<sup>1</sup>, Rizqa Ula Fahadha<sup>1</sup>, Deendarlianto<sup>2</sup>, Dedy Kurniawan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Universitas Tidar, Magelang, Jawa Tengah

<sup>2</sup>Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

\*E-mail: nurmaladf30@untidar.ac.id

Diajukan: 17-11-2023; Direvisi: 23-04-2024; Dipublikasi: 29-04-2024

### Abstrak

Pompa *airlift* merupakan alat yang dapat digunakan untuk memindahkan dari tempat satu ke tempat lainnya. Pompa ini bekerja dengan mengangkat partikel cair atau padat yang dibawa oleh gelembung udara melalui pipa vertikal. Pada percobaan ini, menggunakan sistem *airlift pump* dengan memodifikasi dengan menggunakan *micro bubble generator* yang dipasang pada injektor untuk menghasilkan gelembung udara. Terdapat dua injektor yang terpasang dan memiliki model pusaran (*swirl*). Tujuan dari penelitian ini adalah mengamati visualisasi pola aliran yang terbentuk pada pipa vertikal saat gelembung udara mengangkat air menuju titik akhir. Pola aliran akan diamati dengan memvariasikan nilai kecepatan udara serta ketinggian kolom air pada pipa vertikal. Metode pada penelitian ini dilakukan pada aliran dua fasa (udara-air). Penelitian ini menggunakan pipa akrilik dengan diameter dalam 50 mm dan tinggi 327 cm. Rasio perendaman ditetapkan sebesar 0.44, 0.50, 0.56, 0.62, dan 0.68. Udara disuntikkan ke dalam sistem melalui injektor oleh kompresor, pelepasan udara dikendalikan oleh pengukur aliran udara. Pelepasan udara diatur pada 1.5 m<sup>3</sup>/jam, 2 m<sup>3</sup>/jam, 2.5 m<sup>3</sup>/jam, dan 3 m<sup>3</sup>/jam. Pola aliran pada pipa *upriser* akan ditangkap oleh kamera video. Hasil penelitian, pola aliran *bubble*, *slug*, *churn*, dan *annular* terbentuk akibat variasi debit udara yang diinjeksikan ke dalam sistem. Aliran *slug* akan berubah menjadi aliran *annular* seiring bertambahnya kecepatan aliran *slug*. Air akan terangkat oleh aliran *slug* dan aliran *churn*, aliran *annular* akan membalikkan gaya apung dari aliran *slug* dan aliran *churn*. Kesimpulan dari penelitian ini adalah rasio ketinggian kolom air pada pipa vertikal akan berpengaruh terhadap tenaga penggerak untuk mengangkat air menuju separator. Semakin besar rasio perendaman akan membuat kinerja pompa akan semakin baik. Selain itu pengaruh dari debit udara yang diinjeksikan akan membentuk pola aliran yang dapat memindahkan air dari bagian bawah ke ketinggian tertentu.

**Kata kunci:** *Airlift pump*; aliran dua fasa; cairan; gas; *submergence ratio*; visualisasi aliran

### Abstract

An *airlift pump* can be used to move from one location to another. The pump lifts liquid or solid particles from air bubbles through a vertical pipe. In this experiment, the *airlift pump* system was modified using a *microbubble generator* installed on the injector to produce air bubbles. Two injectors were installed with a *swirl* model. This study aims to visualise the flow pattern that forms in a vertical pipe when air bubbles lift water toward the endpoint. The flow pattern was observed by varying airspeed and water column *h* in the vertical pipe. The method in this study was carried out using a two-phase flow (air-water). An acrylic pipe with an inner diameter of 50 mm and a height of 327 cm was used in this study. The immersion ratios were set to 0.44, 0.50, 0.56, 0.62, and 0.68. Air was injected into the system through a compressor injector, and air release was controlled by an airflow meter. m<sup>3</sup>/h, 1.5 m<sup>3</sup>/h, 2 m<sup>3</sup>/hour, 2.5 m<sup>3</sup>/h, and 3 m<sup>3</sup>/h. The flow pattern in the thriller pipe is captured using a video camera. The research results show that *bubble*, *slug*, *churn*, and *annular* flow patterns are formed owing to variations in the airflow injected into the system. The *slug* flow changed to an *annular* flow as the *slug* flow speed increased. The *slug* and *churn* flows lifted the water, and the *annular* flow reversed the buoyancy force of the *slug* and *churn* flows. This study concludes that the ratio of the water column height in the vertical pipe affects the driving force for lifting water to the separator. The greater the immersion ratio, the better is the pump performance. In addition, the influence of the injected airflow forms a flow pattern that can move water from the bottom to a certain height.

**Keywords:** *Airlift pump*; two phase flow; gas; liquid; *submergence ratio*; visualization

## 1. Pendahuluan

*Airlift pump* merupakan alat yang digunakan untuk mengangkat cairan hingga partikel padatan [1]. *Airlift pump* beroperasi dengan dua sistem. Sistem pertama berada pada bagian dasar yang terdiri dari injektor serta *suction head*, sedangkan sistem kedua berada pada bagian atas yang terdiri dari pipa vertikal. Injektor digunakan untuk menginjeksikan udara bertekanan ke dalam sistem *airlift pump*. Selanjutnya percampuran dari udara injeksi, air, maupun partikel padatan

akan terjadi di *suction head*. Gelembung udara akan terbentuk dan membawa air serta endapan partikel menuju ke separator melewati pipa *riser* [2]. *Airlift pump* memiliki kelebihan diantaranya adalah tidak memerlukan komponen yang rumit dan tidak membutuhkan pelumasan. Selain itu perawatan dari *airlift pump* juga hanya mengggunkan biaya kecil. Pada operasinya *airlift pump* dapat digunakan untuk mengangkat limbah hingga cairan yang bersifat racun atau korosif [3].

Telah banyak penelitian yang dilakukan untuk mendalami *airlift pump* dua fase terkait dengan karakteristik dan performa dari *airlift pump*. Hal ini perlu didalami untuk dapat meningkatkan kinerja *airlift pump* untuk tiga fase. Penelitian terdahulu telah dilakukan untuk *airlift pump* dua fasa pada pipa kecil hingga lebar [4-6], pada sistem ini *airlift pump* dapat menunjukkan performa yang baik dalam melakukan kerjanya dan karakteristik dari pola aliran yang terbentuk adalah *bubble*, *slug*, *churn* dan *annular* dengan variasi kecepatan gas yang diinjeksikan ke dalam sistem. Pola aliran *slug* adalah pola aliran yang dominan yang akan membawa cairan dari *suction head* menuju separator.

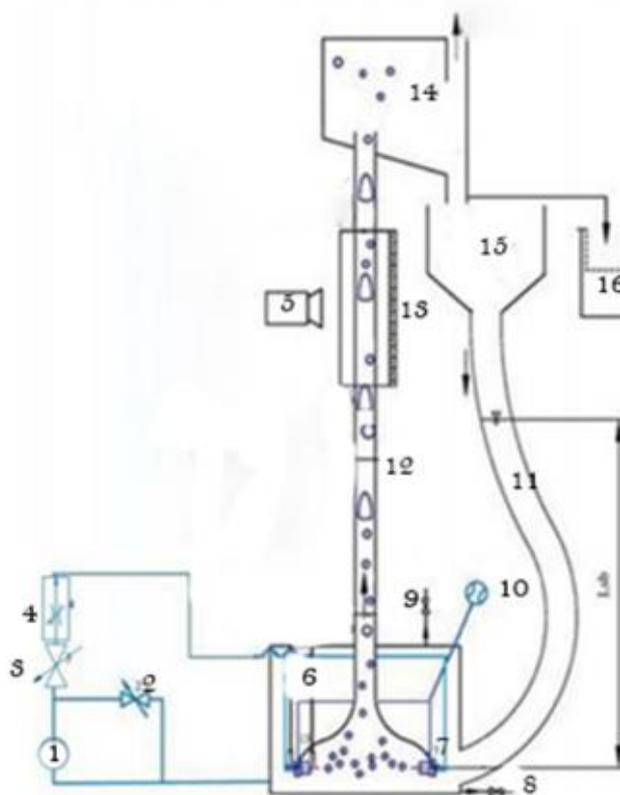
Performa *airlift pump* akan dipengaruhi oleh submergence ratio [7-8], variasi debit udara yang diinjeksikan, serta jumlah injektor udara. Pengaruh ketinggian *submergence ratio* (SR) dan variasi debit udara telah diteliti [9]. Dalam penelitian ini dihasilkan bahwa ketinggian *submergence air* pada pipa *riser* memiliki pengaruh terhadap performa kinerja *airlift pump*. Selain itu variasi debit udara yang diinjeksikan ke sistem akan memiliki pengaruh terhadap performa kinerja pompa. Hal ini terkait dengan gelembung yang dihasilkan dan akan bergabung membentuk aliran *slug* hingga *churn*. Selain itu akan ada pengaruh dari fraksi hampa yang dihasilkan yang akan terlihat pada pipa *riser* [10].

Injektor udara diperlukan untuk media perantara dari udara bertekanan pada kompresor. Menurut [11] injektor udara akan menghasilkan gelembung udara berukuran mikro dengan beberapa tipe, diantaranya adalah *pressurization type*, *cavitation type*, dan *rotating flow type*. Sistem yang digunakan pada operasi *airlift pump* menurut Hanafizadeh, dkk [3] terdiri dari dua tipe yaitu tipe *ordinary*, tipe dengan luasan penampang pipa *riser* sama untuk semua titik dan tipe *step*. Tipe *step* memiliki ciri khas bahwa luasan penampang pipa *riser* akan mengalami pengecilan atau penambahan luas.

Penggunaan *airlift pump* konvensional telah banyak dilakukan, sehingga untuk meningkatkan kinerja *airlift pump* dibutuhkan bantuan salah satunya berupa *micro bubble generator* [12]. Terbentuknya gelembung udara akan mengangkat cairan lain hingga endapan padatan menuju ke separator. Selain itu dengan menggunakan *micro bubble generator* akan lebih hemat energi [1]. Pada penelitian ini akan melakukan eksperimen terkait aliran dua fase air-udara dengan mengkombinasikan *airlift pump* dan *micro bubble generator*. Selanjutnya akan didapatkan visualisasi pola aliran yang muncul pada pipa *riser* yang akan dapat dijadikan sebagai gambaran untuk penggunaan *airlift pump* di tiga fase. Penelitian ini kedepannya dapat digunakan sebagai alternatif dalam mengatasi pendangkalan sungai, penanggulangan minyak tumpah di lepas pantai, serta pengangkatan sedimen lainnya pada dunia industri.

## 2. Material dan metodologi

Penelitian ini akan menggunakan *airlift pump* dengan menambahkan *micro bubble generator* pada injektor yang diletakkan pada *suction head*. Pada sistem *airlift pump* akan di set dengan memvariasikan ketinggian *submergence ratio*, debit udara masuk, dan debit air. Sehingga akan terbentuk pola aliran yang melewati pipa *riser* menuju separator. Selain itu akan diukur nilai gradien tekanan pada setiap pola aliran yang terbentuk. Gambar skema penelitian yang dilakukan seperti pada Gambar 1.



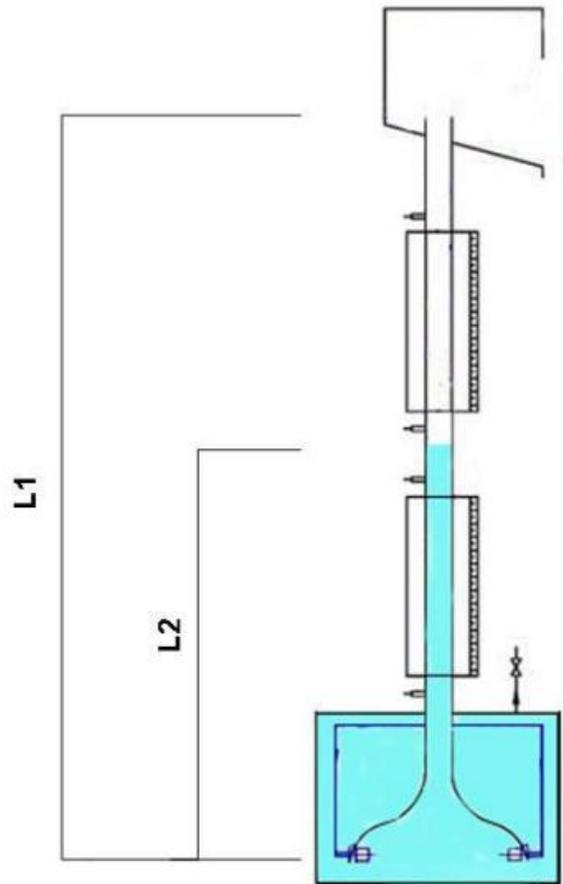
1. Pompa
2. Katup *by pass*
3. Katup
4. *Flowmeter* air
5. Kamera
6. Tangki penyimpanan air
7. *Micro bubble generator* (MBG)
8. Katup penguras air
9. Katup udara
10. *Flowmeter* udara
11. Pipa pembalik
12. Pipa vertikal (*riser*)
13. *Correction box*
14. Pemisah air-udara
15. Tempat penyaring
16. Gelas ukur

**Gambar 1.** Skema penelitian

Pada diagram penelitian Gambar 1 menggunakan pipa akrilik dengan diameter dalam 50 mm dengan tinggi 340 cm. Pada sistem ini akan menggunakan injektor tipe *swirl* dengan sudut 45° [13-14]. Air telah di set dengan variasi *submergence ratio* yang telah ditentukan. Selanjutnya udara yang berasal dari kompresor akan diinjeksikan kedalam sistem dengan memvariasikan debit udara dan debit air yang dipompakan oleh pompa. Pada *suction box* akan terbentuk campuran air dan gelembung udara yang kemudian akan berjalan naik menuju pipa *riser* hingga ke separator. Di *separator* udara akan dipisahkan dengan air, udara akan dikeluarkan ke lingkungan dan air akan dikembalikan ke sistem melewati pipa pembalik. Menurut [15] untuk menentukan nilai *submergence ratio* dapat menggunakan Persamaan (1) dan dapat dijelaskan dengan Gambar 2. Dimana  $\gamma$  merupakan nilai *submergence ratio*,  $L_1$  merupakan panjang dari awal suction part sampai ke discharge part dan  $L_2$  merupakan ketinggian air sampai dengan *suction part*.

$$\gamma = \frac{L_2}{L_1} \quad (1)$$

Dalam eksperimen ini untuk mengetahui pola aliran yang melewati pipa riser, akan diambil gambar dengan kamera video yang di letakan di depan pipa riser. Untuk mengurangi pembiasan cahaya maka dipasang *correction box* dengan ukuran 50 mm × 50 mm × 30 mm. video yang telah didapat akan dilakukan pemrosesan sehingga terbentuk gambar-gambar. Sehingga akan dapat diidentifikasi jenis pola aliran yang terbentuk di dalam pipa *riser*.

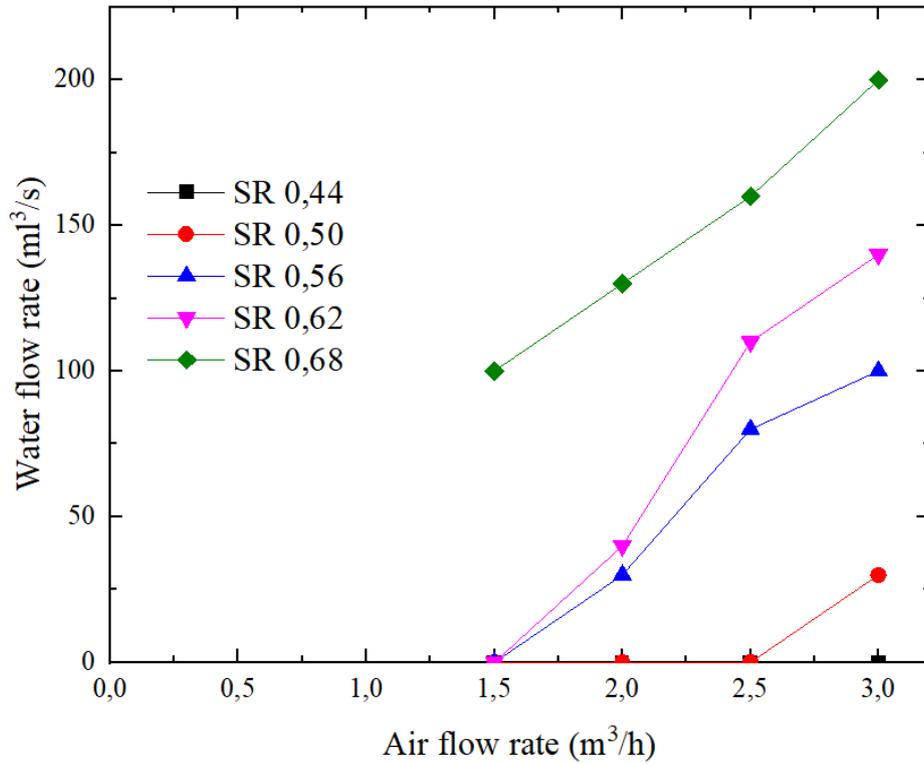


Gambar 2. Ketinggian *submergence ratio* pada pipa riser

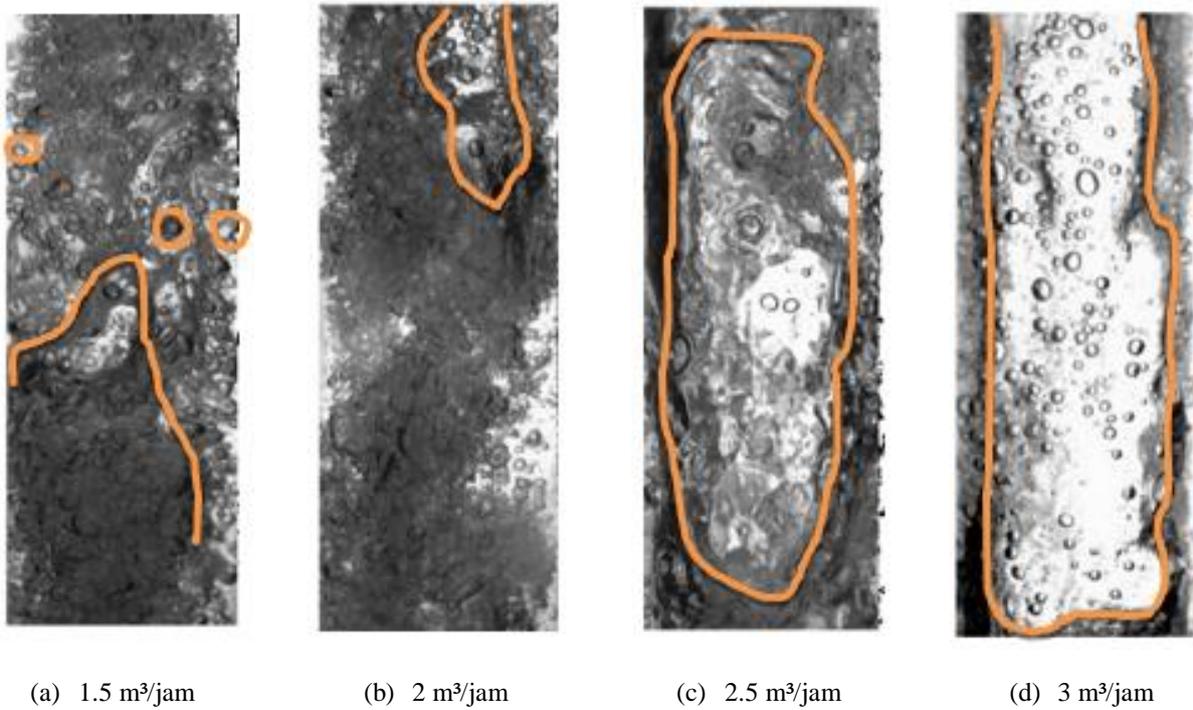
### 3. Hasil dan pembahasan

Dalam pengamatan pada pipa *riser*, terdapat beberapa pola aliran yang muncul akibat dari variasi debit udara yang diinjeksikan dan variasi debit air yang melewati pipa *riser*. Untuk mengetahui pola aliran yang melewati pipa maka diperlukan melakukan analisis terlebih dahulu dengan memperhitungkan nilai *submergence ratio* dan variasi debit udara serta debit air. pada Gambar 3 ditunjukkan bahwa dengan variasi debit udara dan *submergence ratio* akan menunjukkan variasi debit air yang keluar melewati separator.

Pada Gambar 3 dapat diketahui bahwa nilai SR 0.44 tidak menghasilkan debit air yang keluar melalui *separator*, hal ini berarti SR 0.44 belum dapat mengangkat air dari *suction head* hingga *separator*. Air mulai terangkat hingga dapat melewati *separator* terjadi pada SR 0.50 dengan debit udara injeksi yang tinggi yaitu 3 m<sup>3</sup>/jam. dari Gambar 3 dapat disimpulkan bahwa air akan berhasil dibawa keluar oleh *bubble* dengan SR mulai dari 0.56 dengan debit udara mulai dari 2 m<sup>3</sup>/jam. Namun pada SR kecil seperti SR 0.44 tetap akan terjadi pola aliran yang terbentuk di dalam pipa *riser* sehingga hanya akan terbentuk kenaikan kolom air pada pipa *riser*. Gambar 3 juga dapat memberikan informasi bahwa nilai SR diatas 0.62 sudah dapat mengeluarkan air, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam penggunaan *airlift pump* tiga fase, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ahmed, dkk [14]. Pada SR 0.44 meskipun tidak dapat menghasilkan debit air yang dikeluarkan namun tetap terjadi pergerakan aliran, Gambar 4 menunjukkan pergerakan aliran dengan variasi debit udara yang diinjeksikan.



**Gambar 3.** Grafik debit air yang dihasilkan dengan variasi debit udara dan nilai *submergence ratio*

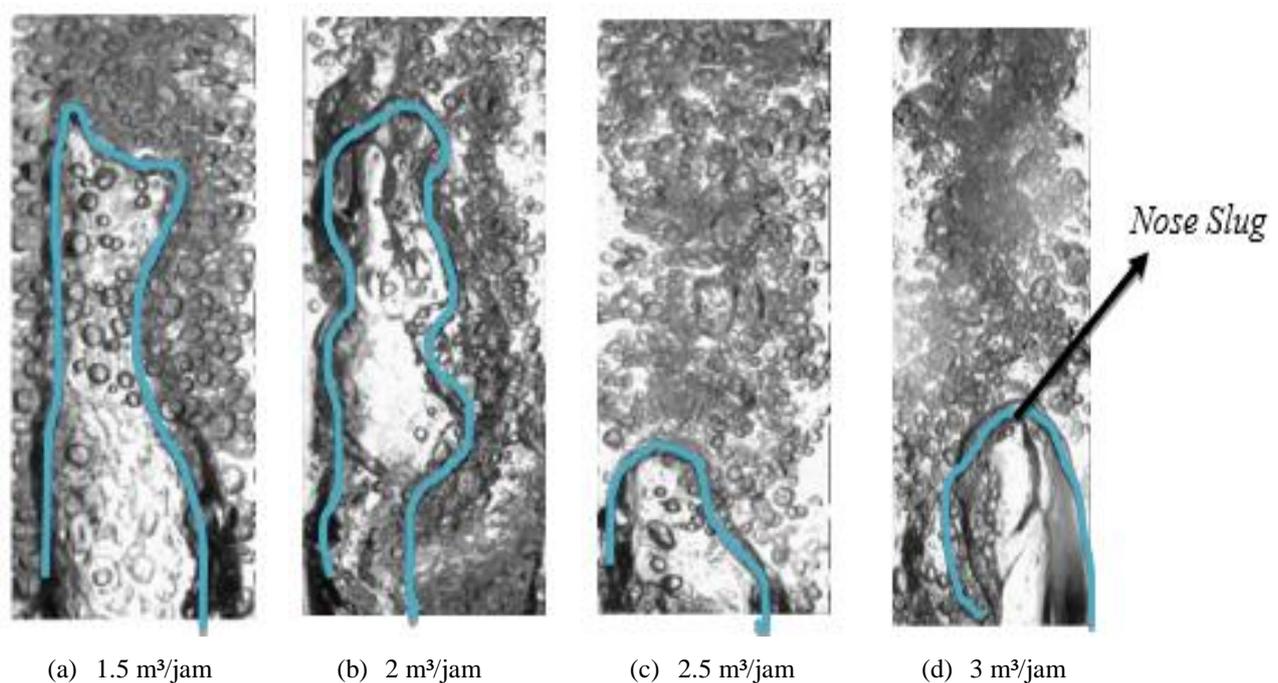


**Gambar 4.** Pola aliran pada SR 0,44 dengan variasi debit udara

Pada Gambar 4 akan diperlihatkan pola aliran yang terbentuk di dalam pipa riser. Meningkatnya debit udara yang diinjeksikan pada sistem *airlift pump* akan menghasilkan peningkatan diameter dari bubble yang terbentuk, hal ini akan mengakibatkan *bubble-bubble* akan bergabung dan menjadi *bubble* dengan ukuran besar atau sering disebut sebagai pola aliran *slug*. Pola aliran *slug* akan mendorong air untuk terangkat menuju separator, namun dikarenakan nilai SR yang kecil maka mengakibatkan kinerja dari *airlift pump* tidak maksimal, hal ini telah sesuai dengan penelitian Deendarlianto, dkk [1] yang menyatakan bahwa air tidak dapat terangkat hingga ke separator akibat dari gaya *buoyancy* dari *bubble* yang lemah.

Pada Gambar 4 dengan debit udara yang rendah pola aliran *bubble* masih mendominasi sepanjang aliran. Seiring dengan bertambahnya debit udara yang diinjeksikan maka pola aliran *bubble* akan berubah menjadi pola aliran *slug* (Gambar 4.c) hingga *churn* (Gambar 4.d). Hal ini diakibatkan oleh debit udara yang besar akan mendukung *bubble* bergabung menjadi *bubble* yang lebih besar.

Pola aliran slug akan secara periodik akibat bergabungnya beberapa *bubble*. Pola aliran *slug* ditandai dengan munculnya *nose slug* seperti pada Gambar 5. Pola aliran ini yang akan membawa air terangkat menuju separator. Pada Gambar 5 ditunjukkan beberapa pola aliran *slug* dengan SR 0.62.

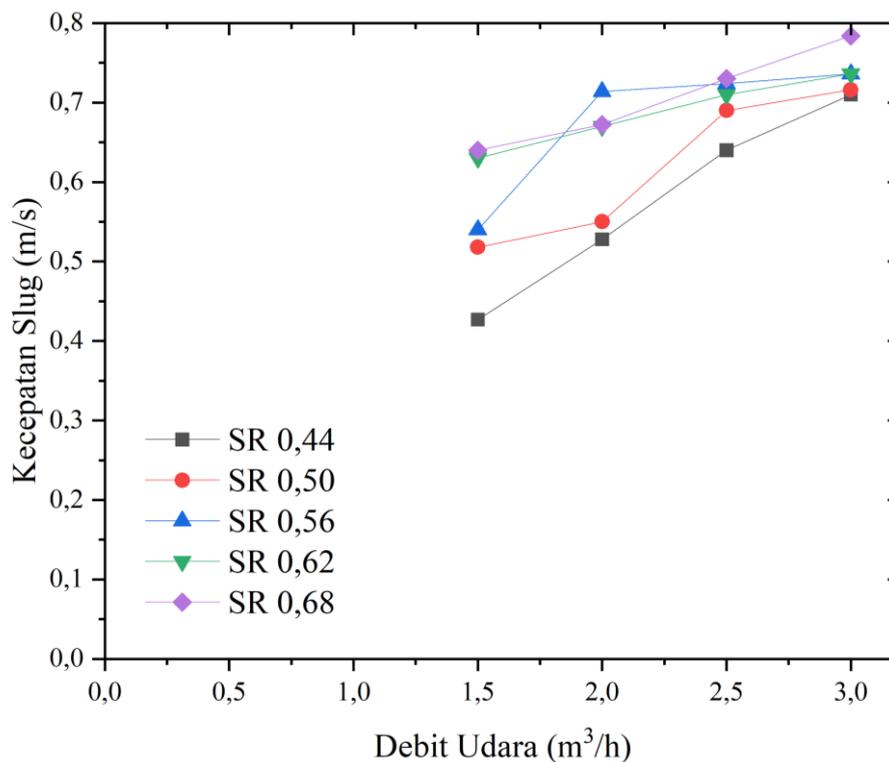


**Gambar 5.** Pola aliran *slug* pada SR 0.62 dengan variasi debit udara

Pada Gambar 5 pola aliran *slug* ditunjukkan dengan adanya *nose slug* yang diikuti oleh gelembung yang panjang dan besar. Pola aliran ini akan muncul dan bertambah besar seiring dengan meningkatnya debit udara. Hal ini sesuai dengan penelitian oleh [16–18] yang menyatakan bahwa pola aliran *slug* akan muncul dan akan berubah akibat dari bertambahnya debit udara, serta pola aliran *slug* akan muncul dengan intensitas lebih sering pada debit yang kecil.

Berkembangnya pola aliran *slug* akan mengakibatkan pola aliran tersebut berkembang menjadi lebih acak, menjadi pola aliran *churn*. Pola aliran *churn* akan terlihat lebih sering muncul pada debit udara yang tinggi (2.5 – 3 m<sup>3</sup>/jam). Pola aliran ini akan muncul di semua variasi SR. Pergerakan aliran *churn* juga sangat cepat sehingga dapat mengangkat air menuju *separator* dengan waktu yang singkat sesuai yang ditunjukkan pada grafik Gambar 6. Hal ini juga diakibatkan oleh bantuan dari *micro bubble generator* sesuai dengan penelitian [1] .

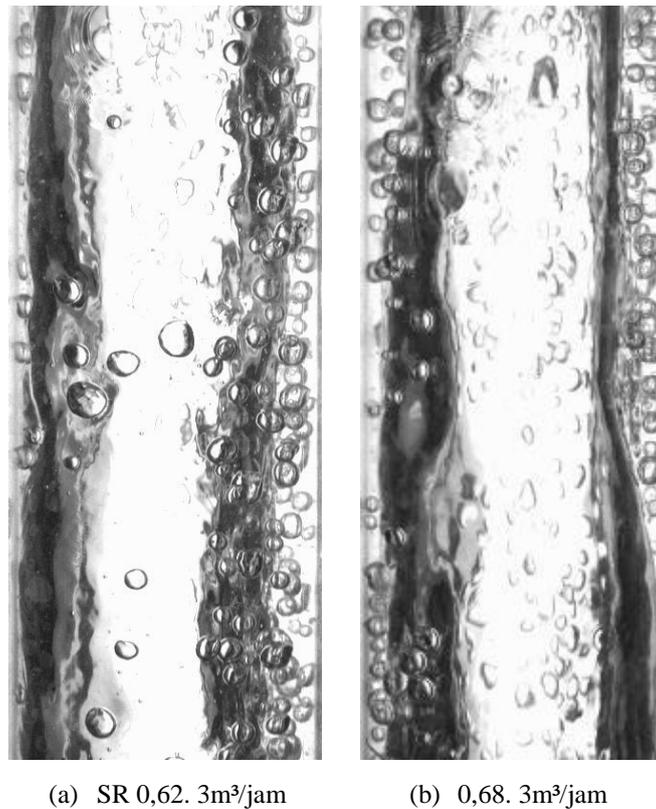
Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya debit udara untuk semua SR maka kecepatan *slug* akan semakin meningkat, hal ini diakibatkan karena *long bubble/slug* memiliki gaya angkat yang besar sehingga akan cenderung bergerak lebih cepat. Hal ini akan mengakibatkan aliran *slug* bergabung menjadi satu dengan *slug* lainnya dan akan membentuk aliran *annular*.



**Gambar 6.** Grafik kecepatan *slug* dengan variasi SR dan debit udara

Pola aliran ini *annular* muncul ketika *slug* yang terus membesar dan memanjang sehingga memenuhi dalam pipa *upriser*. *Slug* yang sangat panjang dan besar menyebabkan keadaan pipa penuh udara pada rentang waktu tertentu. Namun, ketika *slug* semakin panjang dan besar maka tahanan/hambatan yang didapat juga semakin besar sehingga lama kelamaan *slug* akan pecah akibat dorongan fluida dari bawah. Momentum tersebut membuat aliran yang berada di bawah rusak dan acak sehingga terbentuk pola aliran *annular* seperti pada Gambar 7.

Pada Gambar 7 regim *annular* terjadi secara periodik dan pada segmen tertentu sepanjang pipa *upriser*. Regime ini hanya terjadi debit udara tinggi dan SR 0.62 – 0.68 yang memiliki kecenderungan menghasilkan regim *annular*. Pada regime ini air akan kembali turun akibat tidak adanya gaya dorong oleh *bubble*, sehingga regime *annular* sebaiknya dihindari karena tidak dapat mengangkat air pada sistem dua fase.



**Gambar 7.** Pola aliran *annular* pada pipa *riser*

#### 4. Kesimpulan

Pada *airlift pump* dua fase air-udara dengan memvariasikan debit udara injeksi serta nilai SR akan didapatkan titik kritis dimana air dapat dipindahkan dari sistem melewati *separator*. Ketinggian SR akan mempengaruhi bagaimana kinerja dari *airlift pump*. Selain itu di dalam pipa *riser* akan terbentuk beberapa pola aliran yang dapat membawa air dari *water tank* menuju *separator*. Pola aliran *bubble* sangat sering dijumpai di semua variasi SR dan variasi debit udara. Selain *bubble* pola aliran *slug*, *slug-churn*, dan *churn* terbentuk saat melewati pipa *riser*. Pola aliran ini akan mendorong air bergerak menuju *separator* sehingga pola aliran ini yang diupayakan selalu terbentuk di dalam sistem *airlift pump*. Seiring bertambahnya debit udara maka kecepatan *slug* akan bertambah dan pola aliran *slug* atau *churn* akan berubah menjadi pola aliran *annular*. Pola aliran *annular* sangat dihindari untuk terjadi karena pola aliran ini tidak dapat mengangkat air dan akan membalikkan air ke posisi dibawahnya. Dari gambaran diatas dapat digunakan untuk acuan dalam pengoperasian *airlift pump* tiga fase, dengan pola aliran *bubble*, *slug*, dan *churn* yang diupayakan dapat terbentuk di dalam sistem. Selain itu dapat menggunakan nilai SR diantara 0.62-0.68 agar lebih mempermudah *airlift pump* untuk bekerja mengangkat endapan.

Kelemahan dari penelitian ini adalah penelitian ini dapat memiliki pola aliran yang berbeda dengan debit yang sama jika diterapkan pada sistem *airlift pump* dengan jenis cairan yang berbeda hal ini merupakan efek dari kekentalan cairan tersebut. Namun penelitian ini juga dapat digunakan sebagai landasan dalam mengoperasikan *airlift pump* tiga fase untuk mengatasi permasalahan lingkungan atau pengendapan sedimen pada dunia industri.

## Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM universitas Tidar dan DRTPM sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik. Selain itu penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. I GNB Catrawedharma, M.Eng., selaku tim penasehat dalam pembuatan penelitian ini.

## Daftar Pustaka

- [1] Deendarlianto; Supraba, I., Majid, I.A., Pradecta, M.P., Indarto, dan Widyaparaga, A., Experimental Investigation on The Flow Behavior During The Solid Particles Lifting in A Micro-Bubble Generator Type Airlift Pump System. Case Study in Thermal Engineering. Maret 2019; 13: p. 100386.
- [2] Rim, U-Y., Numerical Analysis of Air–Water Two-Phase Upflow in Artificial Upwelling of Deep Ocean Water by Airlift Pump. Computers & Fluids. Maret 2024; 271: p. 106177.
- [3] Hanafizadeh, P., Raffiee, A.H., dan Saidi, M.H., Experimental Investigation of Characteristic Curve for Gas-Lift Pump. Journal of Petroleum Science and Engineering. April 2014; 116: pp. 19–27.
- [4] Mahrous, A-F., Performance of Airlift Pumps: Single-Stage vs. Multistage Air Injection. American Journal of Mechanical Engineering 2014; 2(1): pp. 28–33.
- [5] Pagan, E., Williams, W.C., Kam, S., dan Waltrich, P.J., A Simplified Model for Churn and Annular Flow Regimes in Small- and Large-Diameter Pipes. Chemical Engineering Science. April 2017; 162: pp. 309–321.
- [6] Sharaf, S., van der Meulen, G.P., Agunlejika, E.O., dan Azzopardi, B.J., Structures in Gas-Liquid Churn Flow in A Large Diameter Vertical Pipe. International Journal of Multiphase Flow. Januari 2016; 78: pp. 88–103.
- [7] Kim, S.H., Sohn, C.H., dan Hwang, J.H., Effects of Tube Diameter and Submergence Ratio on Bubble Pattern and Performance of Air-Lift Pump. International Journal of Multiple Flow 2014; 58, 195–204.
- [8] Enany, P., Shevchenko, O., dan Drebenstedt, C., Particle Transport Velocity in Vertical Transmission with an Airlift Pump. Fluids. Maret 2022; 7(3): pp. 1-13.
- [9] Tighzert, H., Brahimi, M., Kechroud, N., dan Benabbas, F., Effect of Submergence Ratio on The Liquid Phase Velocity, Efficiency and Void Fraction in An Air-Lift Pump, Journal of Petroleum Science and Engineering. Oktober 2013; 110: pp. 155–161.
- [10] Wang, Y., Chen, W., Huang, Q., Feng, J., dan Cui, Y., Simple Model for Gas Holdup and Liquid Velocity of Annular Photocatalytic External-Loop Airlift Reactor Under Both Bubble and Developing Slug Flow, Transaction of Tianjin University; 22(3), pp. 228–236.
- [11] Alasadi, A. A. M. H., dan Habeeb, A. K., Analytical and Experimental Investigation for the Effect of Air Injection Angle on the Performance of Airlift Pump. Journal of Engineering. Desember 2022; 22(12), pp. 118–138.
- [12] Deendarlianto, Wiratni, Tontowi, A. E., Indarto, dan Iriawan, A. G. W., The Implementation of A Developed Microbubble Generator on The Aerobic Wastewater Treatment. International Journal of Technology. Desember 2015; 6(6): pp. 924–930.
- [13] Khalil, M. F., Elshorbagy, K. A., Kassab, S. Z., dan Fahmy, R. I., Effect of Air Injection Method on The Performance of An Air Lift Pump. International Journal of Heat and Fluid Flow. Desember 1999; 20(6): pp. 598–604.
- [14] Ahmed, W. H., Aman, A. M., Badr, H. M., dan Al-Qutub, A. M., Air Injection Methods: The Key to A Better Performance of Airlift Pumps, Experimental Thermal and Fluid Science. Januari 2016; 70: pp. 354–365.
- [15] Fajarningrum,, N.D., Kurniawan, D., dan Deendarlito, Studi Eksperimental Pengaruh *Submergence Ratio* dan Debit Udara Masuk Terhadap Karakteristik *Airlift Pump Microbubble Generator Type Dua Fasa Liquid-Gas*. Journal of

Mechanical Engineering. September 2022; 6(02): pp. 69-74.

- [16] Hanafizadeh, P., Ghanbarzadeh, S., dan Saidi, M. H., Visual Technique for Detection of Gas-Liquid Two-Phase Flow Regime in The Airlift Pump. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. Januari 2011; 75(3-4): pp. 327-335.
- [17] Morshed, M., Khan, M. S., Rahman, M. A., and Imtiaz, S., Flow Regime, Slug Frequency and Wavelet Analysis of Air/Newtonian and Air/non-Newtonian Two-Phase Flow. *Applied Sciences*. Mei 2020; 10(9): pp. 1-27.
- [18] Catrawedarma, I. G. N. B., Deendarlianto, dan Indarto. Statistical Characterization of Flow Structure of Air-Water Two-Phase Flow in Airlift Pump-Bubble Generator System. *International Journal of Multiphase Flow*. Mei 2021; 138: p. 103596.