



Studi Eksperimental Karakteristik Aliran Tiga Fase Air-Udara-Partikel *Airlift Pump* dengan Variasi Debit Udara Injeksi pada Kemiringan Sudut Injektor 15°

Nurmala Dyah Fajarningrum^{1,2*}, Haryono Setiyo Huboyo^{1,3}, Jaka Windarta¹

¹Program Studi Program Profesi Insinyur Fakultas Teknik Universitas Diponegoro,

²Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

³Jurusan Teknik Elektro, Mekatronika, dan Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

^{*}Corresponding author: nurmaladf30@untidar.ac.id

(Received: November 27, 2025; Accepted: December 31, 2025)

Abstract

Experimental Study of Three-Phase Water-Air-Particle Flow Characteristics of Airlift Pump with Variation of Injection Air Flow Rate at Injector Angle Tilt of 15° . Airlift pump, one of the equipment that can be used to lift solid materials to liquids with different densities. This tool can be an alternative energy saving and environmentally friendly. The use of airlift pumps can be conventional with the help of a pump, or unconventional with compressed air. In its application, the airlift pump system can be done up to three phases of substances. However, basic research is needed regarding three-phase flow as a basis for the use of three-phase flow. This study uses an acrylic pipe with a height of 254 cm and operates with three phases of water-air-sand. Pressurized air is obtained from the compressor, the water has been set in the system with a height of $\frac{3}{4}$ of the total height of the upriser pipe. Air from the compressor is injected through two injectors and the air flow entering the system will be regulated starting from 30, 40, 50 and 60 LPM. The injector angle will be set at 15° . The results of this study will obtain data related to water flow and visualization of three-phase flow patterns in vertical pipes. The results of this study indicate that bubble, bubble-slug, slug, and churn flow patterns are formed in the upriser pipe. The slug to churn flow pattern has been shown to lift solid particles. This flow pattern will appear at an air flow rate of 40-60 LPM. However, to be able to lift solids, it can be started at a flow rate of 50-60 LPM. From the results obtained, it can be concluded that the use of an airlift pump system can be applied to the removal of sediment in rivers, at sea, and in mining processes because it does not damage the environment and is more environmentally friendly.

Keywords: airlift pump, injector angle, air flow, three-phase flow, non-conventional

Abstrak

Airlift pump, salah satu peralatan yang dapat digunakan untuk mengangkat material padatan hingga cairan dengan perbedaan densitas. Alat ini dapat menjadi salah satu alternatif penghematan energi dan ramah lingkungan. Penggunaan *airlift pump* dapat secara konvensional dengan bantuan pompa, atau nonkonvensional dengan udara bertekanan. Dalam aplikasinya, sistem *airlift pump* dapat dilakukan hingga tiga fase zat. Namun diperlukan penelitian dasar terkait aliran tiga fase sebagai dasar dari penggunaan aliran tiga fase. Penelitian ini menggunakan pipa akrilik dengan ketinggian 254 cm dan beroperasi dengan tiga fase air-udara-pasir. Udara bertekanan didapatkan dari kompresor, air telah diatur di dalam sistem dengan ketinggian $\frac{3}{4}$ tinggi total pipa *upriser*. Udara dari kompresor diinjeksikan melalui injektor sejumlah dua buah dan akan diatur debit udara yang masuk ke dalam sistem mulai dari 30, 40, 50 dan 60 LPM. Sudut injektor akan diatur dalam kondisi 15° . Hasil dari penelitian ini akan didapatkan data terkait dengan debit

air dan visualisasi pola aliran tiga fase pada pipa vertikal. Hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa pola aliran *bubble*, *bubble-slug*, *slug* dan *churn* terbentuk pada pipa *upriser*. Pola aliran *slug* hingga *churn* terbukti dapat mengangkat partikel padatan. Pola aliran ini akan muncul pada debit udara 40-60 LPM. Namun, untuk dapat mengangkat padatan dapat dimulai pada debit 50-60 LPM. Dari hasil yang didapatkan dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan sistem *airlift pump* dapat diterapkan pada pengangkatan endapan di sungai, di laut dan pada proses penambangan karena tidak merusak lingkungan dan lebih ramah lingkungan.

Kata kunci: *airlift pump*, sudut injektor, debit udara, aliran tiga fase, nonkonvensional

How to Cite This Article: Fajarningrum, N. D., Huboyo, H. S., & Windarta, J. (2025). Studi Eksperimental Karakteristik Aliran Tiga Fase Air-Udara-Partikel Airlift Pump dengan Variasi Debit Udara Injeksi pada Kemiringan Sudut Injektor 15°. *JPII*, 3(6), 431-436. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2025.26869>

PENDAHULUAN

Airlift pump menurut Supraba et al. (2019) merupakan alat yang digunakan untuk mengangkat zat cair maupun padat dengan bantuan udara bertekanan meskipun terendam cairan. Alat ini bekerja karena adanya udara bertekanan yang diinjeksikan ke dalam sistem dengan bantuan injektor udara. Dalam kinerja sistem *airlift pump*, sudut dan jumlah injektor akan memengaruhi karakteristik aliran dan kinerja pompa. Aplikasi dari sistem *airlift* dapat untuk mengatasi pendangkalan sungai, tumpahan minyak di laut hingga pada budidaya ikan air tawar (Nur et al., 2020). Penelitian sebelumnya terkait *airlift pump* telah dilaksanakan oleh beberapa peneliti, seperti Fajarningrum & Kurniawan (2022), Fajarningrum et al. (2024), Fajarningrum et al. (2022), Kim et al. (2014) dan masih banyak peneliti lainnya. Penelitian sebelumnya mengupas beberapa kasus terkait *airlift pump*, Kim et al. (2014) menjelaskan bahwa pengaruh diameter pipa *upriser* yang digunakan akan memengaruhi jenis pola aliran yang terbentuk. Selain itu pada penelitiannya mengatakan bahwa nilai *submerged ratio* juga akan memengaruhi performa pompa. Ahmed et al. (2016) melakukan penelitian *airlift pump* terkait sudut injeksi yang digunakan, dalam penelitiannya mengatakan bahwa injektor dengan tipe *swirl* mampu membentuk *slug* lebih baik sehingga dapat mengangkat cairan yang berada di dalam *airlift pump* miliknya. Dalam hal ini metode injeksi udara dengan metode *swirl* dapat dilakukan untuk pengoperasian *airlift pump* dalam tiga fase. Chladek et al. (2011) mengatakan bahwa pada pengoperasian *airlift pump* tiga fase, semakin meningkatnya debit udara maka debit partikel yang diangkat juga akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan bentuk pola aliran *slug* hingga *churn* yang mendorong partikel endapan untuk dapat bergerak ke atas.

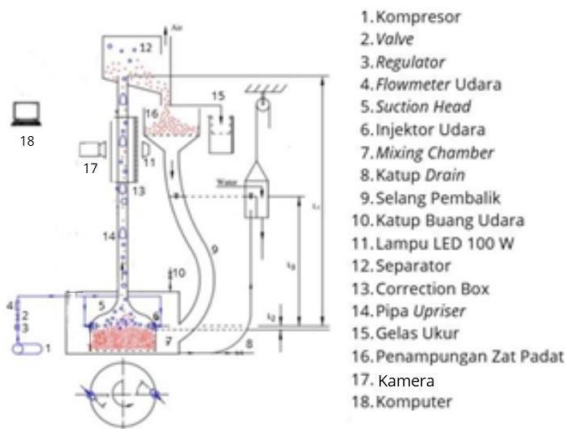
Pada penelitian ini akan membahas terkait karakteristik dari sistem *airlift pump* yang terdiri dari hubungan debit udara injeksi serta kecepatan superficial dari partikel dan air serta visualisasi pola aliran dengan sudut kemiringan injektor udara 15° dari posisi horizontal.

METODE PENELITIAN

Dalam eksperimen ini telah disusun alat uji yang sesuai dengan skema pada Gambar 1. Bahan yang digunakan dalam eksperimen ini adalah air dengan massa jenis 997 kg/m³, udara bertekanan dari kompresor dan partikel padat berupa pasir sungai dengan massa jenis 1.682 kg/m³ pada saat kondisi kering.

Air akan diatur sesuai ketinggian *submergence ratio* yang telah ditentukan yaitu $\frac{3}{4}$ dari total ketinggian pipa yang diukur dari batas injektor hingga ketinggian pipa yang masuk di separator. Total ketinggian dari pipa *upriser* adalah 254 cm. Sehingga ketinggian kolom air yang digunakan sebesar 190,5 cm dari injektor udara hingga pipa yang masuk di separator udara. Diameter dalam pipa yang digunakan dalam eksperimen ini adalah 50 mm dan diameter luar pipa adalah 55 mm. Dalam pengambilan data dibantu pencahayaan dengan lampu LED 100 Watt. Lampu diletakkan di belakang *correction box* dan di antara lampu dan *correction box* dipasang kertas putih yang berfungsi agar memfokuskan cahaya ke *correction box*.

Correction box memiliki dimensi 10×10×50 cm dan diisi dengan air. Tujuan dari penggunaan *correction box* adalah agar dalam pengambilan data berupa video tidak terjadi pembiasan cahaya. *Correction box* diletakkan pada ketinggian pipa 175 cm hingga 205 cm dari injektor udara. Pengambilan data visualisasi pola aliran akan difokuskan pada daerah pipa yang berada pada *correction box*.



Gambar 1. Skema penelitian

Udara bertekanan dari kompresor diinjeksikan ke dalam sistem melalui injektor udara dengan sudut 15° ke bawah dari posisi horizontal. Debit udara diatur melalui *flow meter* udara dimulai dengan debit 30, 40, 50 hingga 60 LPM. Sedangkan partikel padat akan dimasukkan ke dalam sistem. Sebelumnya akan ditimbang total massa partikel yang dimasukkan ke dalam sistem (5 kg). Pola aliran akan terbentuk dan berjalan melewati pipa *upriser* menuju separator dan pipa pembalik. Hal ini diakibatkan dari udara yang terbentuk akan bergerak ke separator dengan membawa air dan partikel padat. Kamera akan merekam data berupa video dan akan dikonversikan menjadi bentuk gambar atau frame.

Air-udara-partikel yang berjalan di pipa *upriser* akan menuju separator. Pada separator, udara akan dibuang ke lingkungan dan air akan kembali ke sistem melalui pipa pembalik. Sedangkan partikel akan disaring dan ditimbang massanya pada tiap waktu untuk mengetahui debit partikel yang melewati pipa *upriser*. Pengukuran debit air akan dilakukan sebelum air masuk ke pipa pembalik. Debit air akan diukur menggunakan gelas ukur dengan waktu untuk mengetahui debit air yang terjadi di dalam sistem.

Data yang didapat akan dicatat dan video akan diekstrak menjadi gambar. Gambar yang didapatkan akan dianalisis untuk dapat diketahui jenis aliran yang melalui pipa *upriser* serta mengetahui pergerakan dari partikel dan gelembung udara yang terbentuk. Selanjutnya akan disajikan dalam bentuk grafik dan dijelaskan dari hasil yang didapatkan. Hasil tersebut akan divalidasi dengan nilai *gas hold-up*, *liquid hold-up* dan *solid hold-up* yang disajikan dalam grafik.

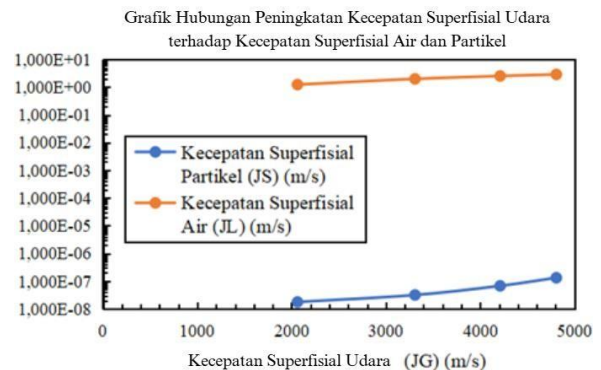
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan dari hasil penelitian ini yaitu terkait visualisasi pola aliran fasa udara-air-partikel pada *airlift pump* serta kecepatan aliran. Kecepatan aliran dalam penelitian ini lebih menitik beratkan pada kecepatan superfisial air dan partikel yang terangkat yang dipengaruhi oleh debit udara injeksi. Kecepatan

superfisial pada setiap fase akan menunjukkan bagaimana kecepatan pada fase zat cair, udara dan partikel bergerak. Perhitungan kecepatan superfisial dapat menggunakan persamaan berikut:

$$J_{\text{pada fase zat}} = \frac{\text{debit fase zat} \left(\frac{m^3}{s}\right)}{\text{luas pipa} (m^2)} \quad (1)$$

Hasil dari perhitungan pada Persamaan (1) akan didapatkan grafik pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik hubungan peningkatan kecepatan superfisial udara terhadap peningkatan kecepatan superfisial air dan partikel

Pada Gambar 2 dapat diketahui bahwa semakin tingginya debit udara injeksi dalam hal ini ditunjukkan sebagai kecepatan superfisial udara maka kecepatan superfisial air dan partikel yang terangkat juga semakin meningkat. Hal ini membuktikan bahwa *airlift pump* dapat bekerja dengan baik untuk mengangkat endapan partikel. Selain itu hasil dari grafik Gambar 2 telah sesuai dengan penelitian Supraba et al. (2019) dan Wang et al. (2020) yang menyatakan bahwa semakin meningkatnya kecepatan superfisial udara akan memberikan pengaruh terhadap peningkatan kecepatan superfisial air dan partikel.

Penjelasan lebih lanjut terkait meningkatnya kecepatan superfisial pada setiap fase dapat diketahui dari pola aliran yang terbentuk. Campuran udara-air-partikel pada *mixing chamber* akan bergerak naik menuju separator dan akan melewati pipa *upriser*. Aliran tersebut akan membentuk pola aliran yang dapat dilihat secara visual. Pola aliran yang terbentuk pada pipa *upriser* antara lain:

1. Bubble

Pola aliran ini dapat ditemukan pada ekor *slug*. Pola aliran *bubble* akan membawa pasir yang jatuh akibat hilangnya gaya dorong dari aliran *slug*. Pada penelitian Hanafizadeh et al. (2014) mengatakan bahwa kondisi ini memiliki gaya angkat yang kecil, namun tetap dapat menopang pasir agar tetap bergerak ke atas. Pada Gambar 3(a) ditunjukkan pola aliran *bubble* yang saling bergabung menjadi satu, pola aliran ini muncul pada debit udara yang rendah. Bentuk dari

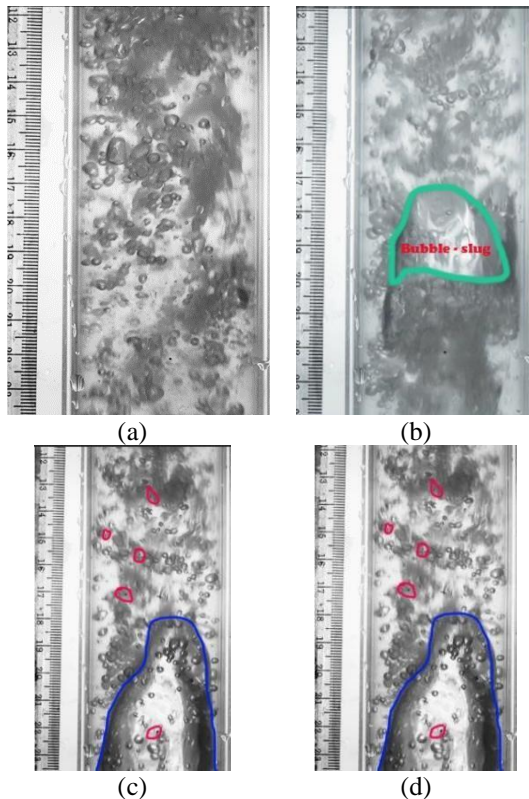
pola aliran ini menyerupai topi seperti pada Gambar 3(b). Pola aliran ini juga disebut sebagai *tiny slug*.

2. *Slug*

Pola aliran ini terbentuk akibat semakin meningkatnya debit udara yang diinjeksikan ke dalam sistem *airlift pump*. Pola aliran ini terjadi akibat gabungan antara *tiny slug*. Pada pola aliran *slug*, pasir akan dapat terangkat ke atas akibat gaya dorong dari kantong udara yang membawa pasir (Supraba et al., 2019) yang ditunjukkan pada Gambar 3(c). Pasir yang terangkat dapat dilihat pada lingkaran merah.

3. *Slug-Churn*

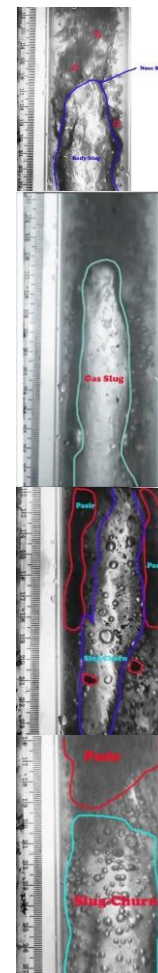
Pola aliran *slug-churn* terbentuk hanya pada kecepatan udara yang tinggi. Pada eksperimen ini pola aliran transisi *slug* menuju *churn* terbentuk pada debit udara 50 dan 60 LPM seperti pada Gambar 3(d). Pada pola aliran ini pasir dapat terangkat lebih banyak yang ditunjukkan pada lingkaran merah. Ciri khas dari pola aliran ini adalah bentuk dari *nose slug* yang tidak simetris.



Gambar 3. Visualisasi pola aliran pada pipa *upriser*

Dari visualisasi pola aliran yang terlihat pada Gambar 3 dapat diketahui bahwa partikel pasir akan terangkat akibat adanya pola aliran *slug*. Pola aliran *slug* merupakan pola aliran dengan bentuk kantong udara

besar yang akan mendorong partikel maupun air hingga terangkat ke atas. Hal ini sesuai dengan grafik pada Gambar 2. Dari hal tersebut maka pada visualisasi pola aliran *slug* untuk setiap kenaikan debit udara akan memiliki bentuk yang berbeda, hal ini ditunjukkan pada Gambar 4 yang mendetailkan bentuk pola aliran *slug* untuk setiap variasi debit udara yang diinjeksikan dari injektor.



(a) Pola aliran *slug* pada debit udara 30 LPM

(b) Pola aliran *slug* pada debit udara 40 LPM

(c) Pola aliran *slug* pada debit udara 50 LPM

(d) Pola aliran *slug* pada debit udara 60 LPM

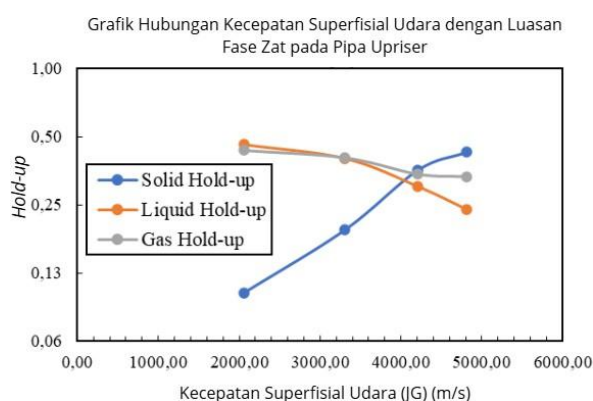
Gambar 4. Visualisasi pola aliran *slug* dan *slug-churn* pada pipa *upriser*

Dari Gambar 4 dapat diketahui bahwa pada pola aliran *slug* dengan debit 50 dan 60 LPM memiliki *nose slug* yang tidak teratur. Hal ini akibat dari jumlah debit udara yang diinjeksikan ke dalam sistem, sehingga akan membentuk pola aliran transisi. Pola aliran *slug-churn* memiliki kekuatan yang lebih besar dalam mendorong pasir agar dapat bergerak ke atas menuju separator (Khalil et al., 1999; Kassab et al., 2007; Wang et al., 2020). Selain itu, pada pola aliran ini memiliki *body slug* yang panjang dan memenuhi diameter pipa.

Pola aliran yang terbentuk akan mendukung partikel pasir untuk dapat terangkat ke atas menuju

separator. Secara perhitungan dapat dilihat pada Gambar 2 untuk hasil dari pengaruh debit udara yang dalam hal ini disajikan dalam kecepatan superfisial udara (JG). Untuk memperkuat hasil dari Gambar 2 dapat dilakukan perhitungan dengan metode *image processing* untuk mengetahui nilai luasan dari setiap fase zat yang berada pada pipa *upriser*.

Metode *image processing* dilakukan dengan cara mengukur luasan fase zat udara, air dan partikel pada frame/gambar tertentu. Dari hasil tersebut akan diketahui berapa luasan (*hold-up*) yang terbentuk akibat dari naiknya debit udara yang diinjeksikan ke dalam sistem *airlift pump*. Hasil perbandingan kecepatan superfisial udara terhadap *hold-up* tiap fase zat dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan kecepatan superfisial udara terhadap luasan fase zat pada pipa *upriser*

Dari Gambar 5 dapat diketahui bahwa semakin tinggi kecepatan superfisial udara atau debit udara yang diinjeksikan ke dalam sistem maka nilai *solid hold-up* akan mengalami peningkatan dan akan terjadi penurunan untuk *liquid hold-up* dan *gas hold-up*. Hal ini terjadi akibat bertambahnya debit udara yang diinjeksikan maka luasan gas akan semakin membesar pada debit awal dan akan mengalami penurunan akibat diameter pipa akan diisi oleh partikel padat sehingga terjadi penurunan luasan air dan udara. Hal ini telah sesuai dengan Gambar 2 dan penelitian milik Supraba et al. (2019).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *airlift pump* efektif untuk mengangkat partikel endapan pasir dan terbukti mampu memindahkan pasir dari dasar sistem menuju permukaan. Peningkatan debit udara injeksi yang ditunjukkan oleh kenaikan kecepatan superfisial udara menyebabkan peningkatan kecepatan superfisial air dan partikel, sehingga proses pengangkatan partikel menjadi lebih optimal. Selain itu, pengamatan terhadap aliran di dalam pipa *upriser* menunjukkan adanya beberapa pola aliran, yaitu *bubble*, *bubble-slug*, *slug* dan *slug-churn*. Di

antara pola-pola tersebut, aliran *slug* dan *slug-churn* merupakan pola yang paling efektif dalam mendorong dan mengangkat endapan partikel. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa peningkatan debit udara injeksi menyebabkan debit partikel yang terangkat semakin besar, sementara debit air cenderung menurun. Kondisi ini ditunjukkan oleh meningkatnya nilai *solid hold-up* dan menurunnya nilai *liquid hold-up* di dalam sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, W. H., Aman, A. M., Badr, H. M., & Al-Qutub, A. M. (2016). Air injection methods: The key to a better performance of airlift pumps. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 70, 354-365. doi:10.1016/j.expthermflusci.2015.09.022.
- Chladek, J., Enstad, G. G., & Melaen, M. C. (2011). Effect of operating conditions and particle properties on performance of vertical airlift. *Powder technology*, 207(1-3), 87-95. doi:10.1016/j.powtec.2010.10.013.
- Fajarningrum, N. D., Kurniawan, D., & Deendarlito, D. (2022). Studi Eksperimental Pengaruh Submergence Ratio dan Debit Udara Masuk terhadap Karakteristik Airlift Pump Micro Bubble Generator Tipe Dua Fasa Liquid-Gas. *Journal of Mechanical Engineering*, 6(2), 69-74.
- Fajarningrum, N. D., Sufyan, M. F. K. H., Fahadha, R. U., Deendarlito, D., & Kurniawan, D. (2024). Visualization of Two-Phase Flow Regime in Vertical Pipe Airlift pump. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 19(1), 85-94.
- Hanafizadeh, P., Raffiee, A. H., & Saidi, M. H. (2014). Experimental investigation of characteristic curve for gas-lift pump. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 116, 19-27. doi:10.1016/j.petrol.2014.02.011.
- Kassab, S. Z., Kandil, H. A., Warda, H. A., & Ahmed, W. H. (2007). Experimental and analytical investigations of airlift pumps operating in three-phase flow. *Chemical Engineering Journal*, 131(1-3), 273-281. doi:10.1016/j.cej.2006.12.009.
- Khalil, M. F., Elshorbagy, K. A., Kassab, S. Z., & Fahmy, R. I. (1999). Effect of air injection method on the performance of an air lift pump. *International Journal of heat and fluid flow*, 20(6), 598-604. doi:10.1016/S0142-727X(99)00051-X.
- Kim, S. H., Sohn, C. H., & Hwang, J. Y. (2014). Effects of tube diameter and submergence ratio on bubble pattern and performance of air-lift pump. *International Journal of Multiphase Flow*, 58, 195-204.. doi:10.1016/j.ijmultiphaseflow.2013.09.007.
- Nur, K. M., Halil, H., & Wicaksono, D. W. (2020). Penerapan Undergravel Airlift Pump Pada Akuakultur Ikan Nila (*Oreochromis Sp*). *Jurnal*

- Akuakultur Rawa Indonesia*, 8(1), 1-11.
doi:10.36706/jari.v8i1.10941.
- Supraba, I., Majid, A. I., Pradecta, M. R., & Widyaparaga, A. (2019). Experimental investigation on the flow behavior during the solid particles lifting in a micro-bubble generator type airlift pump system. *Case Studies in Thermal Engineering*, 13, 100386..
doi:10.1016/j.csite.2018.100386.
- Wang, Z., Deng, Y., Pan, Y., Jin, Y., & Huang, F. (2020). Experimentally investigating the flow characteristics of airlift pumps operating in gas-liquid-solid flow. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 112, 109988.
doi:10.1016/j.expthermflusci.2019.109988.