



Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Ketinggian Kolom Air Pada Performa *Air Lift Pump* Tiga Fase Dengan Sudut Injektor 15°

Muhammad Hilmi Hanafi¹⁾, Nur Hayati²⁾, Nurmala Dyah Fajarningrum^{3*)}

1,2,3) Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Tidar, Jl. Kapten Suparman 39 Potrobangsari, Magelang Utara, Jawa Tengah 56116

e-mail: nurmaladf30@untidar.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh dari variasi ketinggian kolom air terhadap performa air lift pump tiga fase menggunakan sudut injektor sebesar 15°. Sistem pompa ini mengangkat campuran air, udara, dan pasir sungai melalui pipa vertikal dengan memanfaatkan injeksi dari udara yang bertekanan. Parameter performa yang dianalisis meliputi: debit air keluar, pola aliran, massa partikel padat yang terangkat, efisiensi, dan effectiveness. Eksperimen dilakukan dengan variasi ketinggian kolom air sebesar ¼ h, ½ h, dan ¾ h dari tinggi total pipa upriser, yaitu 2,54 m. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketinggian kolom air memberikan pengaruh yang signifikan terhadap seluruh parameter performa air lift pump tersebut. Variasi ¾ h memberikan performa terbaik dibandingkan dengan variasi lainnya dalam segala aspek. Penerapan sudut injektor 15° juga terbukti dapat meningkatkan pola aliran yang berbentuk slug dan churn yang mendukung pengangkatan partikel padat menjadi lebih optimal.

Kata Kunci: *Air Lift Pump*, Variasi Ketinggian Kolom Air, Performa/Kinerja *Air Lift Pump* tiga fase, Sudut Injektor 15°.

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of variations in water column height on the performance of a three-phase air lift pump using an injector angle of 15°. This pump system transports a mixture of water, air, and river sand through a vertical pipe by utilizing pressurized air injection. The performance parameters analyzed include: water discharge, mass of solid particles lifted, flow patterns, efficiency and effectiveness. Experiments were conducted with variations in water column height of ¼ h, ½ h, and ¾ h from the total height of the upriser pipe, which is 2.54 m. The results showed that the height of the water column had a significant effect on all performance parameters of the air lift pump. The ¾ h variation provides the best performance compared to other variations in all aspects. The application of an injector angle of 15° was also proven to improve the flow pattern in the form of slugs and churns that support the lifting of solid particles to be more optimal.

Keywords: *Air Lift Pump*, Water Column Height Variation, Three-phase *Air Lift Pump* Performance, Injector Angle 15°.

1. Pendahuluan

Bidang industri di Indonesia yang semakin mutakhir akan menciptakan *output* yang banyak pula. Produksi sampah akan terkena akibat dari jumlah produksi yang besar tersebut. Di Indonesia, sampah dari beberapa bagian masih dibuang ke sungai dan laut. Kementerian Pekerjaan Umum (PU) mengatakan bahwa ada sekitar 284 bendungan di Indonesia pada tahun 2011 yang memenuhi persyaratan menurut PP Nomor. 37 Tahun 2010 dalam penelitian oleh Dedy (2019) [1]. Tetapi, Presiden Joko Widodo mengklaim

pada tahun 2018 hanya ada 213 bendungan di Indonesia menurut Prabowo dalam berita kompas.

Pengurangan populasi ini menunjukkan bahwa banyak permasalahan yang mengakibatkan bendungan tertentu kehilangan kemampuannya untuk beroperasi. Sedimentasi ataupun penimbunan material di dasar bendungan, yang menyebabkan pendangkalan, merupakan salah satu permasalahan utamanya. Oleh sebab itu, dibutuhkan pemecahan masalah yang alternatif dan lebih efektif serta efisien untuk menyelesaikan permasalahan ini. Salah satu pilihannya merupakan pompa *air lift pump* yang lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan pompa biasa pada

umumnya, sebab metode kerjanya, yaitu dengan menginjeksikan udara pada sedimen sehingga material bisa dinaikan melewati pipa vertikal yang dapat mempermudah proses pembuangan sedimen di daerah yang dangkal.

Menurut Deendarlianto et al., (2019), *air lift pump* merupakan sesuatu alat yang bisa mengangkat campuran padatan serta cairan melewati pipa vertikal walaupun terendam dalam cairan [2]. Dalam riset Khalil et al. (1999) yang meneliti tentang kinerja *air lift pump* dengan *submergence ratio* yang bervariasi antara (0,75; 0,7; 0,6; dan 0,5) [3]. Dan pada rasio perendaman 0,75, efisiensi maksimum dicapai di seluruh desain *skirt*. Untuk memprediksi kinerja *air lift pump* pada aliran 3 fasa udara-air-padatan, Kassab et al. (2007) bereksperimen dalam penelitiannya dengan pendekatan kontrol volume serta model teoritis. Riset ini dilakukan mengenai bagaimana variasi dimensi partikel serta *submergence ratio* mempengaruhi kinerja pompa [4].

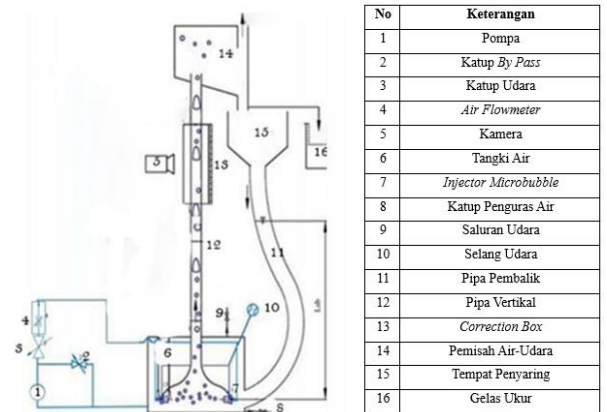
Penelitian mengenai pengujian kinerja *air lift pump* dengan menggunakan variasi kemiringan sudut injektor yang berbeda telah mendapatkan perhatian yang signifikan dalam sejumlah penelitian terdahulu. Menurut Hu et al., (2012) bahwasanya injeksi udara merupakan proses di mana udara bertekanan masuk ke dalam rongga udara kemudian keluar dari lubang keluar udara pada sasis karena bagian bawah rongga udara yang berulir dengan pelat penyangga yang ditempatkan di bagian bawah penampungan air [5]. Alat injeksi konvensional (tipe jaket udara normal) telah dimodifikasi pada penelitian Abdul et al., (2016) dengan mengubah sudut injeksi dari 90° (konvensional) menjadi 45° dan 22,5° (dimodifikasi) dan mendapatkan hasil bahwa kinerja yang lebih tinggi dikaitkan dengan sudut injeksi 22,5° dengan hasil rata-rata peningkatan kinerja maksimum dan efisiensi dari masing-masing sudut sebesar 9% dan 10% [6].

Penting untuk melaksanakan riset tentang *air lift pump* guna untuk memahami seluruh fitur-fitur dalam sistem kerja alat ini. Penelitian ini akan menggunakan teknologi *air lift pump* dengan matriks penelitiannya, yaitu seperti pada parameter performa yang meliputi: *effectiveness*, efisiensi, debit air keluar, dan massa partikel padat yang terangkat, serta pola aliran dengan variasi ketinggian kolom air setinggi (¼ h, ½ h, dan ¾ h) dari total tinggi pipa risernya (2,54 m) serta menggunakan 3 fasa fluida (air, udara, dan pasir sungai) dengan diberikan kemiringan sudut untuk injektornya sebesar 15°. Dengan berdasarkan penjelasan tersebut, penelitian ini memiliki tujuan, yaitu untuk mengetahui pengaruh dari variasi *submergence ratio* terhadap kinerja *air lift pump* tiga fasa yang ditinjau dari parameter debit air yang berhasil keluar, visualisasi pola aliran yang terjadi, massa pasir yang berhasil terangkat, *efficiency*, serta *effectiveness* dari *air lift pump* itu sendiri.

2. Metode

Metode penelitian yang digunakan adalah studi eksperimental dengan melakukan pengujian secara langsung pada sistem *air lift pump* yang telah dirancang. Pada skema alat, pipa yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu

menggunakan pipa *acrylic* dengan panjang 2,54 m; diameter dalam 0,05 m; serta tebal 0,001 m dengan tujuan untuk membantu visibilitas. Perlengkapan yang digunakan dalam riset ini ditunjukkan pada gambar 1 yang merupakan skema *air lift pump* tanpa *Micro Bubble Generator* (MBG).



Gambar 1. Skema *Air Lift Pump*.

Fluida yang digunakan dalam penelitian *air lift pump* tiga fase kali ini, yaitu air sebagai liquid, udara sebagai gas, dan pasir sungai sebagai solid. Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggabungkan studi literatur dan pengambilan data secara langsung/uji eksperimental, yaitu dengan prosedur pengambilan data yang dilakukan dengan yang pertama menyiapkan alat dan bahan, memasang kamera di depan *correction box*, menyalakan lampu dan kamera, mengisi air hingga *submergence ratio* tercapai, menyalakan kompresor, mengatur *control valve* dan menambahkan pasir sesuai matriks kajian yang telah ditentukan, merekam pola aliran, mencatat data, mengulangi hingga seluruh variasi terpenuhi, lalu mematikan peralatan dan merapikan alat. Setelah data penelitian terkumpul, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis data untuk menguji hipotesis penelitian dan menjawab permasalahan yang telah dirumuskan. Analisis data dalam penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan pendekatan kuantitatif melalui analisis statistik deskriptif dan inferensial.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Debit Air yang Berhasil Keluar

Debit air yang keluar dapat diketahui dari volume air yang terukur dibagi dengan lamanya waktu yang dilakukan selama pengambilan data. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Amin Latif & Sitti Fatimah Arsal, 2022), untuk mencari debit air (Q) dibutuhkan persamaan sebagai berikut [7] dengan hasil Q, yaitu:

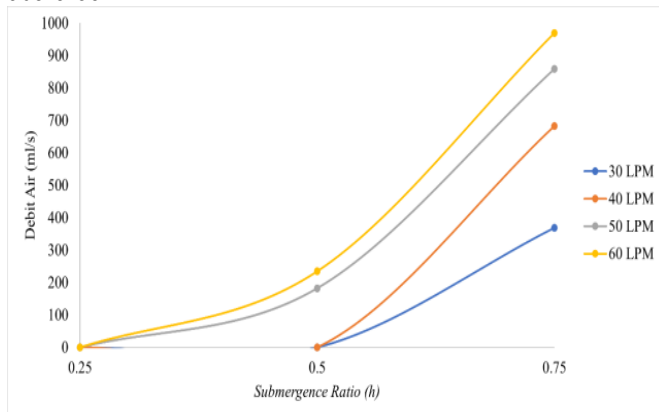
$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{1000 \text{ ml}}{6,7 \text{ s}}$$

$$Q = 149,25 \text{ ml/s}$$

Setiap variasi dilakukan dengan perhitungan yang sama dan setelah selesai melakukan seluruh perhitungan untuk mencari debit air yang keluar beserta dengan rata-ratanya.

Dengan berdasarkan data penelitian serta dari hasil perhitungan terkait debit air yang keluar, maka dapat dianalisa pengaruh dari variasi ketinggian kolom air terhadap performa dari *air lift pump* 3 fase yang ditinjau dari parameter debit air yang keluar, yaitu terdapat pada Gambar 2 yang menampilkan grafik pengaruh *submergence ratio* atau ketinggian kolom air terhadap debit air yang keluar dari semua variasi percobaan. Bahwasannya variasi *submergence ratio* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap performa dari *air lift pump*, khususnya dalam hal debit air yang berhasil dikeluarkan. Terlihat bahwa pada *submergence ratio* $\frac{1}{4}$ h, tidak terdapat air yang berhasil keluar meskipun debit udara dinaikkan dari 30 hingga 60 LPM. Hal ini menunjukkan bahwa *submergence ratio* yang terlalu rendah tidak cukup untuk menghasilkan tekanan yang dibutuhkan guna mengangkat air ke permukaan. Ketika *submergence ratio* dinaikkan ke $\frac{1}{2}$ h, mulai terlihat adanya debit air yang keluar, dan jumlahnya meningkat seiring bertambahnya debit udara. Debit air rata-rata meningkat dari sekitar 182,17 ml/s pada 50 LPM hingga mencapai 234,57 ml/s pada 60 LPM. Ini menunjukkan bahwa pada rasio ini, sistem mulai berfungsi secara efektif. Pada *submergence ratio* $\frac{3}{4}$ h, debit air yang keluar meningkat secara drastis, bahkan mencapai 969,69 ml/s pada debit udara 60 LPM.



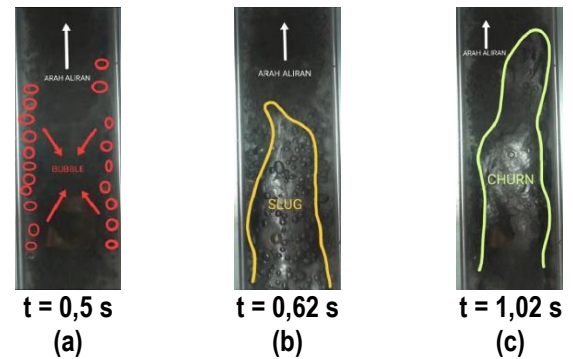
Gambar 2. Grafik Pengaruh Variasi Ketinggian Kolom Air Terhadap Debit Air yang Berhasil Keluar.

3.2 Visualisasi Pola Aliran

Banyak riset telah dilakukan mengenai pola aliran serta peta pola aliran untuk memahami dinamika antarmuka pada *air lift pump*, khususnya untuk aliran 3 fase. Salah satu temuan riset (Hanafizadeh *et al.*, 2011), menunjukkan bahwa pipa *upriser* menampilkan 4 pola aliran utama (*bubble*, *slug*, *churn*, serta *annular*) [8].

Dengan berdasarkan data penelitian serta dari hasil pengamatan video aliran yang sudah direkam sebelumnya, maka dapat dianalisa pengaruh dari variasi ketinggian kolom air terhadap performa dari *air lift pump* 3 fase yang ditinjau dari parameter pola aliran yang terjadi, yaitu berdasarkan tabel pola aliran yang terbentuk, terlihat bahwasannya peningkatan *submergence ratio* (ketinggian kolom air) dapat berpengaruh signifikan terhadap pola aliran yang terbentuk

dalam sistem *air lift pump*. Pada *submergence ratio* terendah, yaitu $\frac{1}{4}$ h, pola aliran tidak terbentuk karena fluida kerja tidak mencapai *correction box*, yang menunjukkan performa pompa yang buruk. Namun, saat debit udara ditingkatkan, mulai terbentuk pola aliran *bubble*, *slug*, dan *churn* yang ditunjukkan oleh Gambar 3.



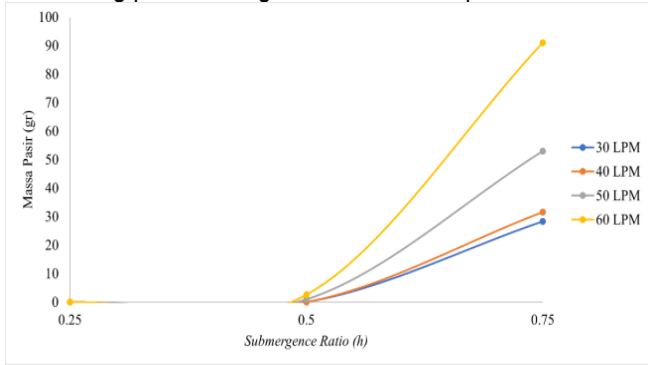
Gambar 3. (a) *Bubble*. (b) *Slug*. (c) *Churn*.

Pada *submergence ratio* yang lebih tinggi, yaitu $\frac{1}{2}$ h, pola aliran mulai terbentuk dengan didominasi oleh aliran *bubble*, *slug*, dan *churn* yang menunjukkan bahwa peningkatan ketinggian kolom air mempercepat terbentuknya pola aliran. Pada *submergence ratio* $\frac{3}{4}$ h, juga didominasi oleh aliran *bubble*, *slug*, dan *churn*. Dengan terbentuknya pola aliran *slug* dan *churn*, maka hal tersebut sesuai dengan yang diharapkan karena pola aliran *slug* dan *churn* dapat lebih mendorong fluida kerja menuju ke separator.

3.3 Massa Pasir yang Berhasil Terangkat

Dengan berdasarkan data penelitian serta dari hasil penimbangan untuk mengetahui berat pasir yang berhasil terangkat, maka dapat dianalisa pengaruh dari variasi ketinggian kolom air terhadap performa dari *air lift pump* 3 fase yang ditinjau dari parameter massa pasir yang terangkat, yaitu terdapat pada Gambar 4 ditampilkan grafik pengaruh *submergence ratio* atau ketinggian kolom air terhadap massa pasir yang terangkat dari semua variasi percobaan. Bahwasannya variasi *submergence ratio* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap performa *air lift pump* dalam mengangkat pasir. Pada *submergence ratio* $\frac{1}{4}$ h, tidak terdapat pasir yang berhasil terangkat meskipun debit udara dinaikkan dari 30 hingga 60 LPM karena tidak terdapat fluida kerja yang mencapai ke separator, yang menunjukkan efisiensi pengangkatan yang sangat rendah. Namun, pada *submergence ratio* $\frac{1}{2}$ h, mulai terlihat adanya partikel yang terangkat, dengan rata-rata massa pasir mencapai sekitar 1 hingga 2,6 gram pada debit 50 dan 60 LPM, menunjukkan adanya peningkatan performa. Peningkatan yang jauh lebih signifikan terjadi pada *submergence ratio* $\frac{3}{4}$ h, di mana rata-rata massa pasir yang terangkat mencapai antara 28,3 hingga 91 gram pada debit udara 30 sampai dengan 60 LPM. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi *submergence ratio*, maka semakin besar juga pengangkatan pasir oleh *air lift pump*,

karena peningkatan tekanan hidrostatik membantu mendorong partikel dengan lebih efektif ke permukaan.



Gambar 4. Grafik dari Pengaruh Variasi Ketinggian Kolom Air Terhadap Massa Pasir yang Berhasil Terangkat.

3.4 Efisiensi Pompa

Setelah mendapatkan data-data yang digunakan dalam melakukan perhitungan untuk menghitung efisiensi *air lift pump*, maka berikut merupakan perhitungan efisiensi *air lift pump* dari setiap percobaan yang telah dilakukan menurut (Yulius Tomy Wijaya, 2021) [9]:

Untuk menghitung tekanan udara absolut yang diinjeksikan menggunakan tekanan terukur dihasilkan oleh kompresor dan dapat diketahui dari spesifikasi kompresornya itu sendiri dan pengaruh tekanan atmosfer, yaitu sebagai berikut:

$$P_{in} = P_{terukur} + P_{atm}$$

$$P_{in} = \left(0,8 \text{ MPa} \times \frac{1 \times 10^{-6} \text{ Pa}}{1 \text{ MPa}} \right) + 101.325 \text{ Pa}$$

$$P_{in} = 901.325 \text{ Pa}$$

Untuk menghitung efisiensi dari pompa dengan menggunakan debit air yang keluar sebesar 182,17 ml/s, yaitu sebagai berikut:

$$\eta = \frac{Q_W \times Z_L \times \rho \times g}{Q_G \times P_a \times \ln \left(\frac{P_{in}}{P_a} \right)} \times 100\%$$

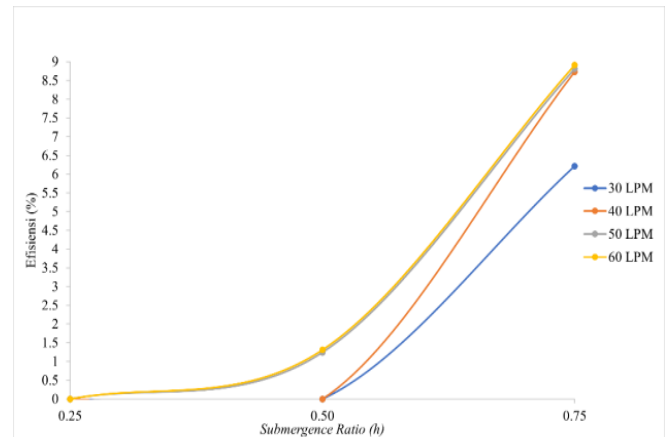
$$\eta = \frac{0,00018217 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,27 \text{ m} \times 998,23 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 9,806 \text{ m}/\text{s}^2}{0,00083 \text{ m}^3/\text{s} \times 101.325 \text{ Pa} \times \ln \left(\frac{901.325 \text{ Pa}}{101.325 \text{ Pa}} \right)} \times 100\%$$

$$\eta = 1,24 \%$$

Setiap variasi dilakukan dengan perhitungan yang sama dan setelah selesai melakukan seluruh perhitungan untuk mencari efisiensi *air lift pump*, maka data-data dari hasil perhitungan tersebut dapat disajikan pada Gambar 5 yang merupakan grafik dari pengaruh variasi ketinggian kolom air terhadap efisiensi pompa.

Dengan berdasarkan data penelitian serta dari hasil perhitungan terkait efisiensi pompa, maka dapat dianalisa pengaruh dari variasi ketinggian kolom air terhadap performa

dari *air lift pump* 3 fase yang ditinjau dari parameter efisiensi, yaitu terdapat pada Gambar 5 yang menampilkan grafik pengaruh *submergence ratio* atau ketinggian kolom air terhadap efisiensi pompa dari semua variasi percobaan. Bahwasannya peningkatan *submergence ratio* secara signifikan dapat meningkatkan efisiensi dari *air lift pump*. Pada *submergence ratio* $\frac{1}{4}$ h, efisiensi pompa masih 0% meskipun debit udara dinaikkan hingga 60 LPM karena tidak ada fluida kerja yang berhasil terangkat, yang menunjukkan bahwa pompa belum bekerja secara efisien. Ketika *submergence ratio* dinaikkan ke $\frac{1}{2}$ h, efisiensi mulai muncul, meskipun masih rendah, yaitu berkisar antara 1,24% hingga 1,31%. Namun, pada *submergence ratio* $\frac{3}{4}$ h, efisiensi pompa meningkat tajam menjadi antara 6,21% hingga 8,91%, yang menandakan bahwa semakin tinggi *submergence ratio*, semakin baik pula performa pompa. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Khalil et al., 1999), (Kassab et al., 2007), dan (Kassab et al., 2009) yang menunjukkan bahwa peningkatan rasio terendam akan meningkatkan efisiensi pemompaan hingga mencapai titik optimum. Namun, jika rasio terendam terus ditingkatkan melewati titik tersebut, efisiensi justru akan menurun [3] [4] [10].



Gambar 5. Grafik dari Pengaruh Variasi Ketinggian Kolom Air Terhadap Efisiensi Pompa

3.5 Effectiveness Pompa

Effectiveness air lift pump dapat diketahui setelah data-data penelitian didapatkan dengan membagi besar fraksi partikel solid yang berhasil diangkat dibandingkan dengan jumlah partikel yang tersedia dalam sistem. Berikut merupakan contoh perhitungan *effectiveness air lift pump* dari masing-masing percobaan yang dilakukan menurut (Taha et al., 2023) [11]:

Untuk mencari Q_s pada debit udara 50 lpm, yaitu sebagai berikut:

$$V = \frac{m (\text{massa pasir terangkat})}{\rho (\text{massa jenis pasir})}$$

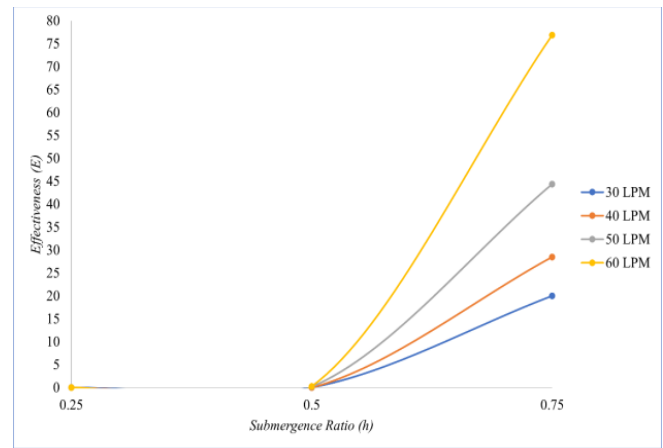
$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,001 \text{ kg}}{1.680 \text{ kg/m}^3} \\
 &= 5,95 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \\
 Q_s &= \frac{V}{t} \\
 &= \frac{5,95 \times 10^{-7} \text{ m}^3}{5,5 \text{ s}} \\
 &= 1,08 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Untuk mencari E pada debit udara 50 lpm, yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{\dot{m}_{solid}}{\dot{m}_{gas}} \\
 &= \frac{Q_s \times \rho_s}{Q_G \times \rho_G} \\
 &= \frac{1,08 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s} \times 1.680 \text{ Kg/m}^3}{0,0008 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,17 \text{ Kg/m}^3} \\
 &= \frac{0,00018}{0,00093} \\
 &= 0,19
 \end{aligned}$$

Setiap variasi dilakukan dengan perhitungan yang sama dan setelah selesai melakukan seluruh perhitungan untuk mencari *effectiveness air lift pump*, maka data-data dari hasil perhitungan tersebut dapat disajikan pada gambar 6 yang merupakan grafik dari pengaruh variasi ketinggian kolom air terhadap *effectiveness* pompa.

Dengan berdasarkan data penelitian serta dari hasil perhitungan terkait *effectiveness* pompa, maka dapat dianalisa pengaruh dari variasi ketinggian kolom air terhadap performa dari *air lift pump* 3 fase yang ditinjau dari parameter *effectiveness*, yaitu terdapat pada Gambar 6 yang menampilkan grafik pengaruh *submergence ratio* atau ketinggian kolom air terhadap *effectiveness* pompa dari semua variasi percobaan. Bahwasannya variasi *submergence ratio* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *effectiveness* pompa pada sistem *air lift pump* tiga fasa. Pada *submergence ratio* $\frac{1}{4}$ h, *effectiveness* pompa bernilai nol di semua variasi debit udara, yang menunjukkan bahwa tidak terjadi pengangkatan fluida kerja menuju ke separator oleh pompa. Ketika *submergence ratio* ditingkatkan menjadi $\frac{1}{2}$ h, *effectiveness* mulai muncul dan meningkat sedikit dari 0,19 hingga 0,25 seiring dengan bertambahnya debit udara mulai dari 50 sampai dengan 60 LPM karena pada debit udara 30 dan 40 LPM masih belum dapat untuk mengangkat fluida kerja menuju ke separator, yang menandakan bahwa pompa mulai bekerja lebih efektif. Peningkatan yang lebih drastis terlihat pada *submergence ratio* $\frac{3}{4}$ h, di mana *effectiveness* pompa melonjak tajam hingga mencapai nilai maksimum sekitar 76,9 pada debit udara 60 LPM.



Gambar 6. Grafik dari Pengaruh Variasi Ketinggian Kolom Air Terhadap *Effectiveness* Pompa

4. Kesimpulan

Debit air yang keluar meningkat drastis pada *submergence ratio* $\frac{3}{4}$ h, dengan debit maksimum mencapai 969,69 ml/s. Hal ini menandakan bahwa peningkatan *submergence ratio* terbukti secara signifikan dapat meningkatkan debit air yang keluar.

Variasi ketinggian kolom air berpengaruh terhadap pembentukan pola aliran. Pada *submergence ratio* tinggi, pola *bubble*, *slug* dan *churn* terbentuk lebih cepat dan stabil, yang mendukung proses pemompaan yang lebih efisien. Debit air yang keluar sangat dipengaruhi oleh pola aliran yang terbentuk. Pola aliran *slug* dan *churn* yang dominan pada *submergence ratio* tinggi memberikan dorongan optimal terhadap fluida kerja, sehingga menghasilkan debit air yang lebih besar.

Submergence ratio yang lebih tinggi juga berkontribusi pada peningkatan massa pasir yang berhasil terangkat. Pada rasio $\frac{3}{4}$ h, massa pasir yang terangkat bisa mencapai 91 gram, menandakan efisiensi pengangkatan partikel yang sangat baik. Peningkatan debit air yang signifikan serta terbentuknya pola aliran *slug* dan *churn* serta juga berperan penting dalam mengangkat pasir. Pada *submergence ratio* tinggi, pola *slug* dan *churn* yang dominan mampu mengangkat partikel lebih efektif karena tekanan hidrostatik dan gaya dorong yang lebih besar.

Efisiensi pompa juga meningkat seiring bertambahnya *submergence ratio*. Pada rasio $\frac{3}{4}$ h, efisiensi mencapai 8,91 %, jauh lebih tinggi dibandingkan rasio $\frac{1}{4}$ h dan $\frac{1}{2}$ h yang menunjukkan kinerja pompa yang lebih optimal dengan tekanan hidrostatik yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi pompa bukan hanya tergantung pada debit air saja, tetapi juga seberapa efektif sistem dalam mengangkat pasir karena pada penelitian kali ini menggunakan 3 fasa fluida kerja.

Peningkatan *submergence ratio* secara signifikan meningkatkan *effectiveness* pompa. *Effectiveness* tertinggi dicapai pada *submergence ratio* $\frac{3}{4}$ h dengan nilai maksimum sekitar 76,9 yang menunjukkan bahwa ketinggian kolom air

yang lebih besar mampu menghasilkan dorongan udara yang lebih baik. Efisiensi yang tinggi menunjukkan bahwa energi yang digunakan dalam proses pemompaan dimanfaatkan secara optimal. Ketika efisiensi meningkat karena pengangkatan debit air dan pasir yang optimal serta pola aliran yang ideal, *effectiveness* pompa pun dapat mencapai nilai maksimum.

Ucapan Terimakasih

Penulis memberikan apresiasi yang tinggi dan mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu proses penelitian secara maksimal hingga selesai.

Daftar Pustaka

- [1] D. Kurniawan, "Studi Eksperimental Pengaruh Submergence Ratio dan Debit Udara Masuk Terhadap Karakteristik Airlift Pump Microbubble Generator Type Dua Fasa Liquid-Gas," UNIVERSITAS GADJAH MADA, 2019.
- [2] Deendarlianto, I. Supraba, A. I. Majid, M. R. Pradecta, Indarto, dan A. Widyaparaga, "Experimental investigation on the flow behavior during the solid particles lifting in a micro-bubble generator type airlift pump system," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 13, hal. 100386, Mar 2019.
- [3] M. F. Khalil, K. A. Elshorbagy, S. Z. Kassab, dan R. I. Fahmy, "Effect of air injection method on the performance of an air lift pump," *Int. J. Heat Fluid Flow*, vol. 20, no. 6, hal. 598–604, Des 1999.
- [4] S. Z. Kassab, H. A. Kandil, H. A. Warda, dan W. H. Ahmed, "Experimental and analytical investigations of airlift pumps operating in three-phase flow," *Chem. Eng. J.*, vol. 131, no. 1–3, hal. 273–281, Jul 2007.
- [5] D. Hu, C. L. Tang, S. P. Cai, dan F. H. Zhang, "The effect of air injection method on the airlift pump performance," *J. Fluids Eng. Trans. ASME*, vol. 134, no. 11, Nov 2012.
- [6] A. Abdul, M. Hasan, A. Ahmed, dan K. Habeeb, "Analytical and Experimental Investigation for the Effect of Air Injection Angle on the Performance of Airlift Pump," *J. Eng.*, vol. 22, no. 12, hal. 118–138, Des 2016.
- [7] A. A. Latif dan A. S. F. Arsal, "Studi Eksperimental Pengaruh Debit Aliran Terhadap Kedalaman Gerusan pada Hilir Pintu Air dengan Dasar Tanah Lempung," *J. Muhammadiyah's Appl. Technol.*, vol. 1, no. 2, hal. 132–137, 2023.
- [8] P. Hanafizadeh, S. Ghanbarzadeh, dan M. H. Saidi, "Visual technique for detection of gas–liquid two-phase flow regime in the airlift pump," *J. Pet. Sci. Eng.*, vol. 75, no. 3–4, hal. 327–335, Jan 2011.
- [9] Y. T. Wijaya, "Unjuk Kerja Airlift Pump Dengan Pipa Riser Berdiameter 1/2 Inchi Menggunakan Aerator 45 Liter Per Menit," Universitas Sanata Dharma, 2021.
- [10] Kassab, S. Z., Kandil, H. A., Warda, H. A., & Ahmed, W. H. (2009). Air-lift pumps characteristics under two-phase flow conditions. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 30(1), 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2008.09.002>
- [11] Taha, M. H., Ahmed, W. H., & Moussa, S. E. (2023, December). Investigating Airlift Pump Performance under Three-Phase Flow Conditions. *Proceedings of the 4th International Conference on Fluid Flow and Thermal Science (ICFFTS 2023)*. <https://doi.org/10.11159/icffts23.171>
- [12] Yani, A., Istiqomah, N., Hariyadi, H., Raharjo, D., Studi Teknik Mesin, P., Tinggi Teknologi Industri Bontang, S., Brigjend Katamso No, J., & Bontang, K. (n.d.). *AutoMech Jurnal Teknik Mesin Studi Eksperimental Variasi Tekanan Keluar (Discharger Pressure) Terhadap Kinerja Pompa Air Sentrifugal: Pada Alat Praktikum Mesin Fluida STTI Bontang*.