

Kaji Eksprimental Pengaruh Debit Fluida Terhadap Kerugian Tekanan Yang Dihasilkan Oleh Alat Pembangkit Gelembung Berukuran Mikron

Praditya Andri Ramadhania^a, Drajat Indah Mawarnia^a

^aSekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe, Jl. Kampus Ronggolawe No. 1 Mentul, Indah, Komp. Pertamina, Karangboyo, Kec. Cepu, Kabupaten Blora, Jawa Tengah 58315

*Email: pradityaramadhani878@gmail.com

Tentang naskah:

-diterima, 11 Agu.

2024

-direview, 23 Des.

2024

-diterbitkan, 23 Des.

2024

Intisari

Microbubble generator (MBG) adalah perangkat yang dirancang untuk menghasilkan gelembung udara atau gas dalam ukuran mikro. Alat ini semakin banyak digunakan untuk proses aerasi di kolam perikanan maupun kolam pengolahan limbah, karena kemampuannya dalam meningkatkan kadar oksigen terlarut di dalam air. Penelitian ini bersifat eksperimen dengan mengkaji performa *Microbubble Generator Tipe Swirl* dengan cara menghitung pressure drop, hydraulic power, efisiensi dan pengamatan secara visual. Eksperimen ini dilakukan dengan mengubah variasi debit air pada 24, 32, dan 40 Lpm, sementara debit udara disesuaikan antara 0,1 hingga 0,8 Lpm dengan interval kenaikan 0,1 Lpm. Untuk memeriksa ukuran dan distribusi gelembung mikro, aliran yang keluar dari MBG divisualisasikan menggunakan kamera Canon 1200D. Sedangkan untuk mengukur penurunan tekanan, digunakan sensor pressure transducer. data terekam oleh *Arduino UNO* yang terhubung dengan *Microsoft Excel*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Pressure drop* cenderung naik seiring dengan kenaikan dari (QL) dan debit udara (QG) yang masuk ke sistem *microbubble generator*. *Hydraulic power* cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya nilai debit air (QL). Sedangkan *efisiensi* yang dihasilkan semakin menurun dengan meningkatnya (QL). Terdapat hubungan yang signifikan antara debit udara dan penurunan tekanan di dalam MBG dengan jumlah serta ukuran gelembung yang dihasilkan.

Abstract

A microbubble generator (MBG) is a device designed to produce micro-sized air or gas bubbles. This tool is increasingly used for the aeration process in fishery ponds and sewage treatment ponds, because of its ability to increase dissolved oxygen levels in water. This research is experimental by examining the performance of the Swirl Type Microbubble Generator by calculating pressure drop, hydraulic power, efficiency and visual observation. The experiment was conducted by changing the water discharge variation at 24, 32, and 40 Lpm, while the air discharge was adjusted between 0.1 to 0.8 Lpm with an interval increase of 0.1 Lpm. To examine the size and distribution of microbubbles, the flow exiting the MBG was visualized using a Canon 1200D camera. While to measure the pressure drop, a pressure transducer sensor was used. the data was recorded by an Arduino UNO connected to Microsoft Excel. The results showed that Pressure drop tends to increase along with the increase of (QL) and air discharge (QG) entering the microbubble generator system. Hydraulic power tends to increase as the value of water discharge (QL) increases. While the resulting efficiency decreases with increasing (QL). There is a significant relationship between air discharge and pressure drop inside the MBG with the number and size of bubbles produced.

Keyword:

Microbubble Generator Swirl Type, Arduino, Pressure Drop

1. Pendahuluan

Penggunaan pipa dalam suatu sistem saluran fluida banyak dijumpai dalam kehidupan manusia sehari-hari. Sistem perpipaan merupakan suatu sistem yang digunakan untuk memindahkan fluida baik fluida cair, gas maupun campuran

cair dan gas dari suatu tempat ke tempat yang lain. Efisiensi dari suatu sistem saluran akan tercapai maksimal apabila desain atau perancangan sistem salurannya dilakukan dengan cermat dan tepat.

Perancangan ini meliputi penentuan diameter pipa, posisi pipa, penggunaan sambungan-sambungan (*fitting*) dan belokan (*elbow*). Perubahan tekanan dalam aliran fluida terjadi karena adanya perubahan ketinggian, perubahan kecepatan akibat perubahan penampang dan gesekan fluida.

Pada aliran tanpa gesekan perubahan tekanan dapat dianalisa dengan persamaan Bernoulli yang memperhitungkan perubahan tekanan ke dalam perubahan ketinggian dan perubahan kecepatan. Sehingga perhatian utama dalam menganalisa kondisi aliran nyata adalah pengaruh dari gesekan. Gesekan akan menimbulkan penurunan tekanan atau kehilangan tekanan dibandingkan dengan aliran tanpa gesekan.

Berdasarkan lokasi timbulnya kehilangan tekanan, secara umum kehilangan tekanan akibat gesekan atau kerugian ini dapat digolongkan menjadi 2 yaitu: kerugian *major* dan kerugian *minor*. Selain itu aliran fluida yang mengalami gesekan dengan permukaan saluran akan menyebabkan terjadinya kerugian tekanan (*pressure drop*). Hal ini dapat juga terjadi ketika aliran fluida melewati sambungan pipa, belokan maupun katup. Besar *pressure drop* ini bergantung pada kecepatan aliran, kekasaran permukaan, panjang pipa serta diameter pipa (Fadhli & Sriwati, 2017).

Pembangkit Gelembung berukuran Mikron merupakan sebuah teknologi penghasil gelembung mikron yang sedang dikembangkan pada 5 tahun terakhir ini. Untuk menghasilkan gelembung, diperlukan fluida cair dan gas yang dialirkan melalui saluran tangensial dan nosel. Sehingga memungkinkan sekali terjadinya penurunan tekanan pada saluran tersebut. Pada penelitian ini, penulis akan menyajikan hubungan antara debit air yang digunakan terhadap ukuran gelembung yang dihasilkan serta penurunan tekanan yang terjadi. Diharapkan dengan penelitian ini akan dapat menambah data base pengetahuan tentang pengaruh debit fluida terhadap kerugian tekanan yang dihasilkan, selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk kepentingan industri.

2. Kerangka Teori

2.1 Microbubble

Microbubble, seperti namanya, adalah gelembung-gelembung berukuran mikro.

Menurut *The American Heritage Dictionary of the English language: Fourth edition* (2000), pengertian *microbubble* adalah gelembung udara yang berukuran mikro yang dapat tersuspensi secara merata pada cairan. Dalam penelitian-penelitian yang telah dilangsungkan, terdapat beberapa definisi berbeda dari *microbubble*, ditunjukkan sebagai berikut.

1. *Microbubble* sebagai gelembung yang ukurannya kurang dari 10 μm (Ohnari, 2002).
2. *Microbubble* sebagai gelembung berukuran $\leq 200 \mu\text{m}$ (Sadatomi et al., 2012).
3. *Microbubble* sebagai sekumpulan *bubble* dengan rentang ukuran 10 – 50 μm (Temesgen et al., 2017).

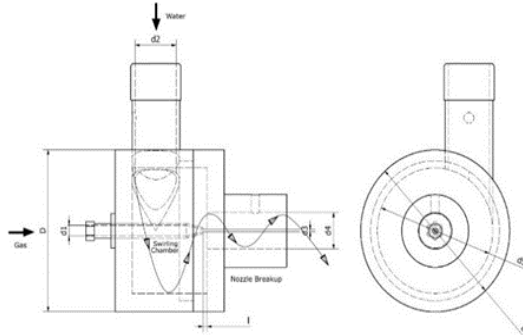
2.2 Microbubble Generator

Microbubble generator merupakan alat yang dapat menghasilkan gelembung atau bubble berukuran mikro. Penelitian ini mempelajari pengaruh aliran swirl yang diciptakan oleh cyclone pada microbubble generator tipe orifice 12 mm dengan menggunakan porous tube dari stainless steel wire mesh ukuran 300 terhadap distribusi diameter bubble yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan microbubble generator tipe orifice karena memiliki bentuk yang sederhana dan proses manufaktur yang mudah. Untuk meninjau performa dari microbubble generator dapat digunakan beberapa parameter yaitu, hydraulic power (Lw), pressure drop, dan distribusi diameter bubble yang terbentuk. Pada penelitian ini, performa atau karakteristik microbubble generator dipelajari dengan melakukan penelitian pengaruh perubahan debit air (QL) terhadap distribusi bubble yang dihasilkan. Debit aliran yang digunakan mempunyai rentang antara 30 lpm – 60 lpm serta distribusi diameter bubble yang dihasilkan diakuisisi dengan menggunakan high speed camera. Berdasarkan hasil penelitian menghasilkan bubble dengan probabilitas tertinggi pada rentang diameter 300 – 450 (Mawarni & Korawan, 2019).

2.3 Microbubble Generator Tipe Swirl

Geometri dan dimensi dari microbubble generator (MBG) yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 2.3. Alat yang terbuat dari plexiglass ini memiliki saluran air masuk (inlet) dengan diameter $d_2 = 25 \text{ mm}$, yang dihubungkan secara tangensial ke dinding silinder/tabung (swirling chamber) dengan

diameter $D = 90$ mm. Saluran udara dengan diameter $d_1 = 6$ mm masuk tepat di tengah silinder MBG. Nozzle breakup atau ruang pencampuran (mixing chamber) yang merupakan tempat aliran udara dan air bercampur memiliki diameter 20 mm dan panjang 45 mm. Cara kerja MBG ini adalah sebagai berikut: air yang berasal dari pompa mengalir secara tangensial ke swirling chamber melalui inlet, menciptakan aliran spiral (swirling flow). Ketika aliran spiral dengan kecepatan tinggi memasuki mixing chamber yang lebih sempit (diameter 20 mm), terjadi penurunan tekanan yang signifikan hingga di bawah tekanan atmosfer, menyebabkan udara dari luar terhisap masuk ke MBG. Desain aliran spiral ini bertujuan untuk meningkatkan intensitas turbulensi, sehingga gelembung udara yang dihasilkan dari MBG diharapkan memiliki ukuran yang lebih kecil. (Indarto, 2022)



Gambar 2.3 Microbubble Generator Tipe Swirl

2.4 Persamaan Bernoulli

Persamaan Bernoulli merupakan persamaan untuk mengukur perubahan tekanan pada aliran tanpa gesekan di dalam suatu instalasi perpipaan. Berikut dibawah ini adalah rumus perhitungannya:

$$\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z = \text{tetap}$$

Dimana:

1. p = tekanan (N/m²)
2. ρ = massa jenis (kg/m³)
3. v = kecepatan (m/s)
4. g = gaya gravitasi (m/s²)
5. z = head (m)

2.4 Performa Microbubble Generator

Salah satu yang digunakan untuk menilai performa dari sebuah *microbubble generator* adalah dari petunjuk unjuk kerja. Penilaian unjuk kerja pada

eksperimen ini didasarkan dari *pressure drop* dari *microbubble generator*. *Pressure drop* menggambarkan besaran energi yang hilang pada saat *microbubble generator* berkerja. (Sadatomi dkk, 2005).

Data *pressure drop* didapat dari hasil selisih tekanan antara tekanan saluran air masuk terbaca dikurang dengan tekanan saluran keluar terbaca. Persamaan (1) untuk mencari nilai *Pressure Drop* didapatkan dari persamaan berikut.

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

Keterangan:

P_1 = Tekanan terbaca saluran masuk (kPa)

P_2 = Tekanan terbaca saluran keluar (kPa)

Sedangkan nilai *hydraulic power* diperoleh dari pengalihan ΔP dengan QT . *Hydraulic power* sendiri penting didapatkan untuk menentukan besarnya daya pompa yang akan digunakan oleh *microbubble generator*. Semakin kecil nilai *hydraulic power* maka akan semakin baik, karena daya yang dibutuhkan semakin sedikit. Persamaan untuk mencari nilai *hydraulic power* didapatkan dari persamaan berikut.

$$P = \Delta P \times QT$$

$$QT = Qg + Ql$$

Keterangan:

P = hydraulic power (watt)

ΔP = *pressure drop* (kPa)

Qg = Debit udara (lpm)

Ql = Debit air (lpm)

Sementara untuk menghitung *efisiensi* dari *microbubble generator* didapatkan dari persamaan 3.

$$\eta_B = \frac{P_{\text{output}}}{P_{\text{input}}} \times 100\%$$

3. Metodologi

3.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Air Bersih (galon)
2. Udara (atmosfer)

3.2 Alat Penelitian

1. MBG Tipe Swirl
2. Akuarium Uji
3. Pompa Sentrifugal
4. Water Rotameter
5. Gas Flowmeter
6. Sensor Pressure Transducer
7. Kamera Canon 1200D
8. Arduino Uno

3.3 Metode Penelitian atau Penjelasaannya

Proses dari penelitian ini terfokus pada pembacaan data menggunakan Arduino yang terhubung dengan laptop. Fluida cair yang digunakan merupakan air bersih, serta fluida gas yang digunakan adalah udara yang mengalir secara tertutup melalui pipa dengan tekanan 1 atmosfer. Fluida cair disirkulasikan menggunakan pompa dan diukur debitnya dengan menggunakan rotameter flowmeter. Udara diisap dengan memanfaatkan aliran swirl yang menghasilkan tekanan negatif di dalam microbubble generator. Debit aliran udara yang masuk diatur menggunakan gas flowmeter. Tekanan pada inlet dan outlet *microbubble generator* dibaca oleh sensor tekanan, selanjutnya data yang diperoleh disimpan dalam *Arduino* untuk kemudian diolah dengan menggunakan *microsoft excel*. Dalam penelitian ini, variabel yang di variasikan adalah debit cairan dan debit udara. Cairan dialirkan pada debit 24, 32, 40 lpm, sedangkan udara dialirkan pada debit 0,1 lpm hingga 1 lpm. Kondisi yang diharapkan yaitu ingin mengetahui pengaruh variasi debit air terhadap kecepatan aliran fluida dan kerugian tekanan (pressure drop) fluida cair dan gas.

4. Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan penelitian dengan variasi pada debit air dan udara dihasilkan data dan pengolahannya sebagai berikut:

4.1 Hasil Tangkapan Gambar

Hasil ini memberikan representasi visual dari distribusi dan ukuran gelembung dalam area yang dianalisis. Perekaman untuk mendapatkan tangkapan atau hasil gambar menggunakan kamera Canon 1200D.

4.2 Tekanan pada sisi Inlet dan Outlet Microbubble Generator

Data yang dihasilkan dari penelitian adalah informasi tentang tekanan pada sisi inlet maupun outlet dari *microbubble generator tipe swirl* yang kemudian diolah

menggunakan *microsoft excel* dengan mengambil nilai rata – ratanya.

Data tekanan inlet dan outlet dengan variasi debit air 24, 32, 40 lpm pada debit udara 0,1 dan 0,8 lpm disajikan pada tabel 1.1 dan 1.2 sebagai berikut.

Tabel 1. 1 Data tekanan inlet dan outlet pada debit air 24, 32, 40 lpm dengan debit udara 0,1 lpm

Debit (lpm)	Tekanan Inlet	Tekanan Outlet
	(kPa)	(kPa)
24	0,93921	0,6025
32	0,860133	0,548667
40	0,82227	0,64453

Tabel 1. 2 Data tekanan inlet dan outlet pada debit air 24, 32, 40 lpm dengan debit udara 0,8 lpm.

Debit (lpm)	Tekanan Inlet	Tekanan Outlet
	(kPa)	(kPa)
24	0,8916	0,57987
32	0,889333	0,638533
40	0,8548	0,55213

4.3 Pressure Drop

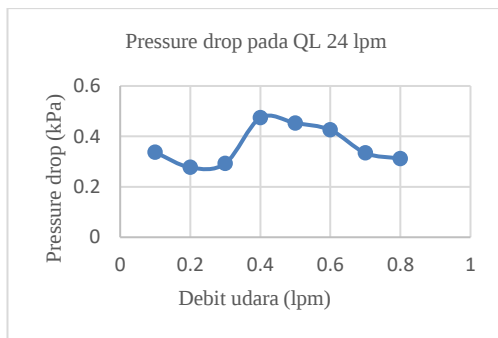
Sebagai contoh perhitungan digunakan data dengan debit air 24 lpm, debit udara 0,1 dan 0,8 lpm sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta p &= p_1 - p_2 \\ &= 0,93921 - 0,6025 \\ &= 0,33671 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Sedangkan perhitungan dengan debit air 24 lpm dan debit udara 0,8 lpm adalah sebagai berikut:

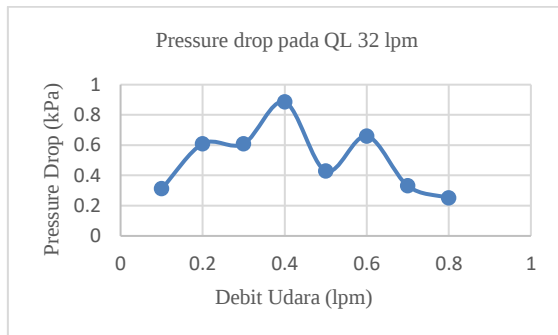
$$\begin{aligned}\Delta p &= p_1 - p_2 \\ &= 0,8916 - 0,57987 \\ &= 0,31173 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Secara keseluruhan data presure drop yang diperoleh berdasarkan variasi debit udara dengan debit air konstan yaitu 24 lpm disajikan pada grafik 4.1 sebagai berikut:



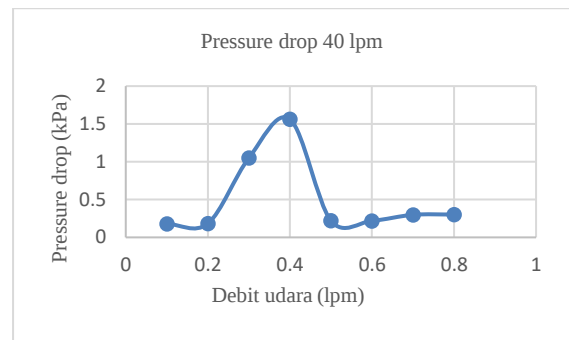
Gambar 4. 1 Grafik Pressure Drop Variasi Debit Air 24 lpm

Secara keseluruhan data presure drop yang diperoleh berdasarkan variasi debit udara dengan debit air konstan yaitu 32 lpm disajikan pada grafik 4.2 sebagai berikut:



Gambar 4. 2 Grafik Pressure Drop Variasi Debit Air 32 lpm

Adapun data pressure drop yang diperoleh berdasarkan variasi debit udara dengan debit air konstan yaitu 40 lpm disajikan pada grafik 4.3 sebagai berikut:



Gambar 4. 3 Grafik pressure drop Variasi Debit Air 40 lpm

Dari grafik 4.1 sampai 4.3 dapat diketahui bahwa nilai pressure drop tertinggi ditunjukkan pada variasi debit air 40 lpm dan debit udara 0,4 lpm dengan nilai 1,56 kPa. Sedangkan nilai pressure drop terendah terdapat pada variasi debit air 40 lpm variasi debit udara 0,1 lpm dengan nilai 0,17773 kPa.

4.4 Hydraulic Power

Nilai *hydraulic power* didapatkan dari persamaan (2) dan sebagai contoh perhitungan, digunakan data dengan variasi debit air 24 lpm dan debit udara 0,1 serta 0,8 lpm. Perhitungan nilai *hydraulic power* pada nilai debit air 24 lpm dengan debit udara 0,1 lpm adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}QT &= 24 + 0,1 \\ &= 24,1 \frac{\text{liter}}{\text{menit}} \\ &= 0,0004 \text{ m}^3/\text{s} \\ \Delta P &= 0,33671 \text{ Pa} \\ P &= \Delta P \times QT \\ &= 0,33671 \times 0,0004 \\ &= 0,000134684 \text{ watt}\end{aligned}$$

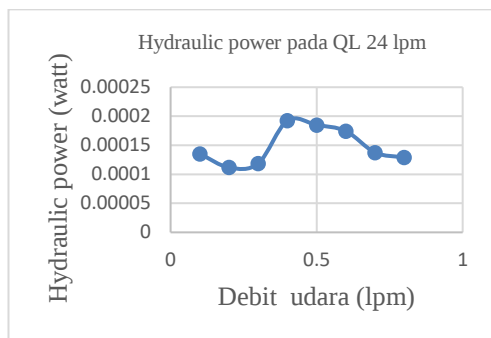
Sedangkan perhitungan nilai *hydraulic power* pada nilai debit air 24 lpm dengan debit udara 0,8 lpm adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}QT &= 24 + 0,8 \\ &= 24,8 \frac{\text{liter}}{\text{menit}} \\ &= 0,00041 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

$$\Delta P = 0,31173 \text{ Pa}$$

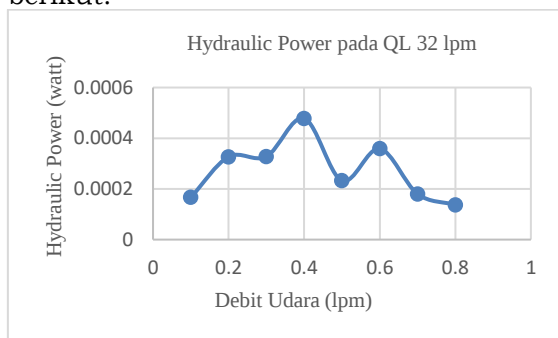
$$\begin{aligned} P &= \Delta P \times QT \\ &= 0,31173 \times 0,00041 \\ &= 0,0001278093 \text{ watt} \end{aligned}$$

Secara keseluruhan data *hydraulic power* yang diperoleh berdasarkan variasi debit udara dengan debit air konstan yaitu 24 lpm disajikan pada grafik 4.4 sebagai berikut:



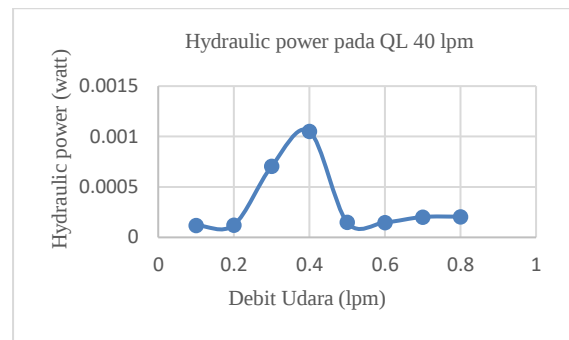
Gambar 4. 4 Grafik Hydraulic Power Variasi Debit Air 24 lpm

Secara keseluruhan data *hydraulic power* yang diperoleh berdasarkan variasi debit udara dengan debit air konstan yaitu 32 lpm disajikan pada grafik 4.5 sebagai berikut:



Gambar 4. 5 Grafik Hydraulic Power Variasi Debit Air 32 lpm

Secara keseluruhan data *hydraulic power* yang diperoleh berdasarkan variasi debit udara dengan debit air konstan yaitu 40 lpm disajikan pada grafik 4.6 sebagai berikut:



Gambar 4. 6 Grafik Hydraulic Power Variasi Debit Air 40 lpm

Dari gambar 4.4 sampai 4.6, dapat diketahui bahwa variasi debit air dan udara sangat berpengaruh terhadap nilai *hydraulic power*, semakin tinggi debit air dan udara maka nilai *hydraulic power* akan meningkatkan konsumsi daya yang dibutuhkan untuk system *microbubble generator*.

4.5 Efisiensi

Nilai efisiensi sendiri didapatkan dari persamaan (3), Sebagai contoh perhitungan digunakan data dengan debit air 24 lpm dan debit udara 0,1 sebagai berikut:

$$\eta_B = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\%$$

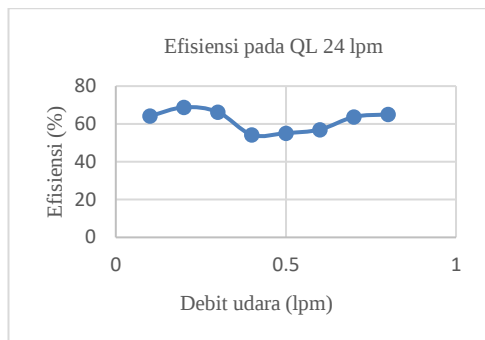
$$\eta_B = \frac{0,60}{0,93} \times 100\% = 64 \%$$

Sedangkan perhitungan nilai *efisiensi* pada debit air 24 lpm dengan debit udara 0,8 lpm adalah sebagai berikut:

$$\eta_B = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\%$$

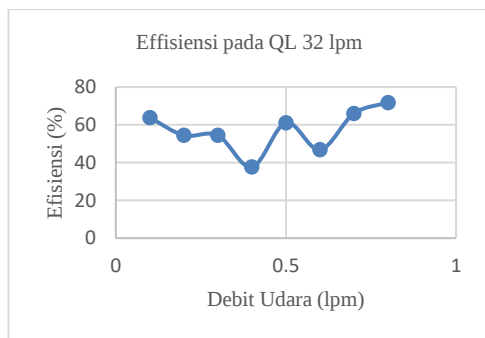
$$\eta_B = \frac{0,57}{0,89} \times 100\% = 65 \%$$

Nilai *efisiensi* dicari untuk mengetahui seberapa *efisiensi microbubble generator* dalam menggenerasi *microbubble*. Secara keseluruhan data nilai *efisiensi* yang diperoleh berdasarkan variasi debit udara dengan debit air konstan yaitu 24 lpm disajikan pada grafik 4.7 sebagai berikut:



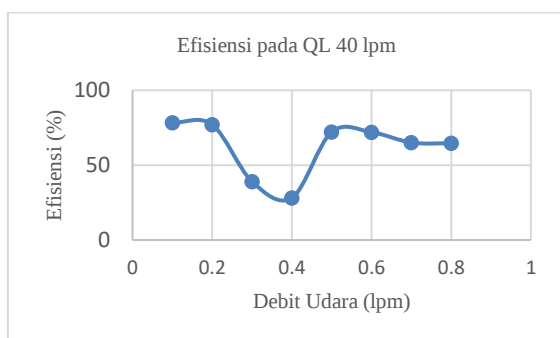
Gambar 4. 7 Grafik nilai efisiensi variasi debit air 24 lpm

Secara keseluruhan data nilai *efisiensi* yang diperoleh berdasarkan variasi debit udara dengan debit air konstan yaitu 32 lpm disajikan pada grafik 4.8 sebagai berikut:



Gambar 4. 8 Grafik nilai efisiensi variasi debit air 24 lpm

Secara keseluruhan data nilai *efisiensi* yang diperoleh berdasarkan variasi debit udara dengan debit air konstan yaitu 40 lpm disajikan pada grafik 4.9 sebagai berikut:



Gambar 4. 9 Grafik nilai efisiensi variasi debit air 24 lpm

Nilai *efisiensi* terendah terdapat pada variasi debit air 40 lpm pada debit udara 0,1 dengan nilai 78,38%, dan *efisiensi*

tertinggi terdapat pada variasi debit air 40 pada debit udara 0,4 lpm, dengan nilai 28,17%.

5. Simpulan

Berdasarkan gambar, tabel, grafik maka data kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian adalah *Pressure drop* cenderung naik seiring dengan kenaikan dari debit air (QL) dan udara (QG) yang masuk ke sistem microbubble generator. *Hydraulic power* cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya nilai debit air (QL). Efisiensi yang dihasilkan semakin menurun dengan meningkatnya debit air (QL). Terdapat hubungan yang erat antara debit air dan penurunan tekanan di dalam MBG dengan jumlah serta ukuran gelembung yang terbentuk.

Daftar Pustaka

- Afrianto, N. (2019). Air Conditioner (Ac) Portable Dengan Peltier Yang Dikontrol Menggunakan Smartphone Berbasis Arduino. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 6–33.
- Agni, A. (2014). Studi Eksperimental Pressure Drop Aliran Gelembung (Air - Udara) pada Pipa Berulir Dalam dengan Kemiringan Sudut 0 O - 50 O.
- Alam, H. S., Redhyka, G. G., Sugiarto, A. T., & ... (2018). Design and performance of swirl flow microbubble generator. In ... of Engineering & researchgate.net. https://www.researchgate.net/profile/Hilman-Syaeful-Alam/publication/330190037_Design_and_performance_of_swirl_flow_microbubble_generator/links/5cd8eae92851c4eab99ee88/Design-and-performance-of-swirl-flow-microbubble-generator.pdf
- Arfan, Salimin, & Imran, A. I. (2020). Studi Penurunan Tekanan Akibat Aliran Melalui Katup. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 5(3), 69–75.
- Fadhli, & Sriwati. (2017). Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Belokan Pipa (Elbow) terhadap Kecepatan Aliran Fluida. *Jurnal Iltek*, 12(1), 1717–1721.
- Firra, R., W, I., & Agung Rachmanto, T. (2019). Peningkatan Efektifitas Aerasi Dengan Menggunakan Micro Bubble Generator (MBG). *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 8(2), 88–97.
- Indarto, D. (2022). Analisis Pressure Drops di Microbubble Generator tipe Aliran Swirl Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Uki Toraja 2022. 2–7.
- Mawami, D. I., Indarto, I., Deendarlianto, D., & ... (2022). Pengaruh Jarak Nosel dengan Outlet terhadap Dis-tribusi Ukuran Bubble yang Dihasilkan oleh MBG Tipe Swirl. *Jurnal Rekayasa* <https://rekayasamesin.ub.ac.id/index.php/rm/article/view/977>
- Mawami, D. I., & Korawan, A. D. (2019). Pengaruh Debit Fluida Air terhadap Distribusi Diameter Bubble pada Microbubble Generator Tipe Orifice-Porous Tube. *SIMETRIS*.

<https://www.sttrcepu.ac.id/jurnal/index.php/simetris/article/view/78>

Ohnari, H. (2002). Swirling Fine-Bubble Generator. (*U.S. Patent No US 6,382,60 B1*). U.S. Patent and Trademark Office, 1(12).

Rizal 2013. (n.d.). *Analisa pressure drop pada instalasi pipa alat uji rugi-rugi aliran menggunakan cfd fluent 6.0*. 45–56.

Sadatomi, M., Kawahara, A., Matsuura, H., & Shikatani, S. (2012). Micro-bubble generation rate and bubble dissolution rate into water by a simple multi-fluid mixer with orifice and porous tube. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 41, 23–30.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2012.03.002>

Temesgen, T., Bui, T. T., Han, M., Kim, T., & Park, H. (2017). Micro and nanobubble technologies as a new horizon for water-treatment techniques: A review. *Advances in Colloid and*
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001868617301719>

William D.C, 1993. (1993). *Introduction to Instrumentation, Sensors, and Process Control*. Artech.
<http://ieeexplore.ieee.org/document/9100842>