

Analisis Pressure Drops di Microbubble Generator tipe Aliran Swirl

Indarto^{1,2}, Mawarni² dan
Deendarlianto^{1,2}

1). Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas
Teknik UGM.

2). Pusat Studi Energi UGM

3). Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe, Cepu
e-mail : indarto@ugm.ac.id

ABSTRAK

Microbubble generator (MBG) adalah alat yang dapat menghasilkan gelembung udara/gas dalam ukuran mikro. Salah satu sifat unik dari *microbubble* ini adalah gelembung tersebut dapat berada di dalam air dalam jangka waktu yang cukup lama karena *buoyancy force*-nya (gaya apung) kecil. Alat ini sudah mulai banyak dipakai untuk aerasi di kolam perikanan atau kolam pengolahan limbah, karena dapat meningkatkan kandungan oksigen yang terlarut dalam air. Karakteristik MBG telah dipresentasikan dalam beberapa makalah sebelumnya. Makalah ini hanya membahas tentang analisis fluktuasi *pressure drops* di dalam MBG tipe aliran *swirl*. Diharapkan dari analisis fluktuasi penurunan tekanan ini akan dapat diketahui faktor dominan yang mempengaruhi dimensi gelembung udara yang dihasilkan oleh MBG. Karena kinerja sebuah MBG, salah satunya ditentukan oleh kemampuannya untuk menghasilkan gelembung dengan ukuran mikro secara homogen. Eksperimen ini dilakukan dengan cara memvariasikan debit air mulai dari 25 sampai dengan 80 Lpm dengan kenaikan sebesar 5-10 Lpm. Sedangkan debit udara dari 0,1 sampai dengan 0,6 Lpm dengan kenaikan sebesar 0,1 Lpm. Untuk melihat ukuran dan distribusi gelembung mikro, telah dilakukan visualisasi aliran saat keluar dari MBG dengan menggunakan *high speed video camera*. Sedangkan pengukuran penurunan tekanan dengan menggunakan *differential pressure transducer* (DPT).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada korelasi yang kuat antara debit air dan penurunan tekanan di dalam MBG dengan jumlah dan ukuran gelembung yang dihasilkan.

Kata kunci : Microbubble generator, aliran *swirl*, fluktuasi, *pressure drops*.

ABSTRACT

Microbubble generator (MBG) is a tool that can produce air/gas bubbles in micro sizes. One of the unique properties of these microbubbles is that these bubbles can stay in the water for a long time due to their small buoyancy force. This MBG has begun to be widely used for aeration in fishing ponds or waste treatment ponds, because it can increase the oxygen dissolved in the water. The MBG characteristics have been presented in several previous papers. This paper only discusses the analysis of pressure drops in the swirl flow MBG. It is hoped that from this analysis it will be possible to identify the dominant factors that influence the dimensions of the air bubbles produced by MBG. Because the performance of an MBG, one of which is determined by its ability to produce bubbles with micro size homogeneously. The experiments were carried out by varying the water discharge from 25 to 80 Lpm with an increase of 5-10 Lpm. While the air discharge from 0.1 to 0.6 Lpm with an increase of 0.1 Lpm. In order to know

the size and distribution of the microbubbles, a visualization of the flow at outlet of the MBG has been carried out using a high speed video camera. While measuring the pressure drop using a differential pressure transducer (DPT).

The results showed that there was a good correlation between the water flowrate and the pressure drops inside the MBG with the number and size of the bubbles produced.

Keywords: Microbubble generator, swirling flow, pressure drops,

I. Pendahuluan

Gelembung mikro atau *microbubble* adalah gelembung gas/udara yang memiliki diameter dengan skala mikrometer (10^{-6} m), namun para peneliti belum sepakat tentang rentang ukuran diameter yang termasuk dalam kategori gelembung mikro ini [1], [2], [3], [4], [5]. *Microbubble generator* (MBG) adalah alat yang dipakai untuk menghasilkan gelembung mikro, dan dalam beberapa dekade terakhir ini banyak dilakukan penelitian tentang MBG yang dipakai sebagai aerator untuk meningkatkan oksigen terlarut dalam air [1], [4], [5], [6], [7], [8]. Mengapa gelembung mikro ini lebih mampu meningkatkan kandungan oksigen terlarut dalam air dibanding dengan gelembung kecil biasa, karena gelembung mikro ini mempunyai sifat-sifat yang lebih menguntungkan dilihat dari sisi aerasi. Kelebihan sifat ini antara lain, karena ukuran gelembung yang sangat kecil, maka untuk volume total gas yang sama, gelembung mikro mempunyai luas *interface* yang lebih besar. Juga karena ukuran yang sangat kecil maka gaya apung atau *buoyancy force*-nya juga sangat kecil. Sehingga kecepatan naiknya (*rising velocity*) sangat lambat atau dengan kata lain gelembung mikro ini memiliki waktu tinggal dalam air lebih lama. Hal inilah yang menyebabkan kelarutan oksigen yang dihasilkan juga lebih besar. Sebuah MBG dapat dikatakan mempunyai kinerja yang baik apabila alat ini dapat menghasilkan *microbubble* berdiameter mikro dan homogen serta konsumsi daya yang kecil.

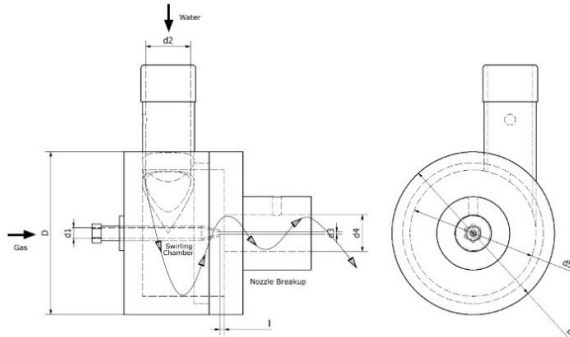
Hasil penelitian yang dituangkan dalam tulisan ini adalah analisis penurunan tekanan (*pressure drops*) antara saluran masuk ke MBG (*inlet*) dan saluran keluar (*outlet*). Dengan analisis sinyal, hasil pengukuran *pressure drops* ini diharapkan dapat memberikan informasi secara kualitatif tingkat turbulensi aliran dalam MBG yang diperkirakan berpengaruh secara langsung terhadap ukuran gelembung mikro yang dihasilkan.

II. Geometri MBG, Instalasi dan Metode Penelitian

a. Geometri Microbubble Generator

Geometri dan dimensi *microbubble generator* (MBG)

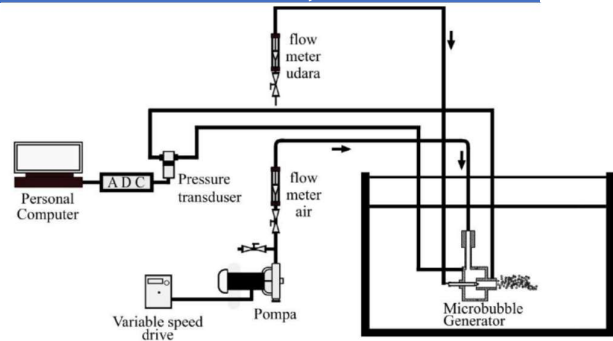
yang digunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 1. Alat yang terbuat dari *plexiglass* ini terdiri dari saluran air masuk (*inlet*) berdiameter $d_2 = 25$ mm, yang disambungkan/ dilekatkan dalam arah tangensial dengan dinding silinder/tabung (*swirling chamber*) yang berdiameter $D = 90$ mm. Saluran udara yang berdiameter $d_1 = 6$ mm masuk menembus silinder MBG tepat di tengah-tengah. *Nozzle break-up* atau *mixing chamber* (ruangan tempat bercampurnya aliran air dan udara) berdiameter 20 mm dan panjangnya 45 mm. Cara kerja MBG sebagai berikut. Air dari pompa mengalir masuk secara tangensial ke *swirling chamber* lewat *inlet* sehingga tercipta aliran spiral (*swirling flow*). Air yang mengalir secara spiral dengan kecepatan yang tinggi ini akan semakin tinggi ketika memasuki *mixing chamber* yang diameternya jauh lebih kecil yaitu 20 mm. Dengan adanya penyempitan saluran ini akan menyebabkan terjadinya penurunan tekanan (*pressure drops*) sampai di bawah tekanan atmosfer atau vakum, sehingga udara luar terhisap masuk ke MBG. Tujuan aliran dibuat spiral dalam MBG ini adalah dalam upaya untuk menaikkan intensitas turbulensi sehingga gelembung udara yang keluar dari MBG diharapkan berukuran lebih kecil.



Gambar 1. Microbubble Genertor [9].

b. Instalasi Eksperimen

Skema dari instalasi eksperimen yang dipakai untuk penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 2, terdiri dari : bak air berukuran panjang 1800 mm, lebar 600 mm dan tinggi 600 mm, dibuat dari kaca dengan tebal $t=13$ mm. Pompa sentrifugal berfungsi untuk mensirkulasikan air dari bak, masuk ke MBG lalu keluar kembali ke bak lagi. Rotameter air dan gas dipergunakan untuk mengukur besarnya debit aliran air dan gas. Debit gas diatur dengan katup dan debit air yang keluar dari pompa diatur dengan cara merubah putaran pompa menggunakan *variable speed drive*.



Gambar 2. Instalasi Eksperimen [9].

c. Metode Pengukuran

Microbubble Generator yang akan diuji ditempatkan 200 mm di bawah permukaan air dan berada di tengah-tengah lebar bak.

Besaran yang diukur adalah *pressure drops* atau kerugian tekanan di antara dua titik pengukuran yaitu *inlet* MBG (saluran air masuk) dan *outlet* yang terletak di dinding tengah-tengah *mixing channel*. *Pressure drops* di antara kedua titik ini bisa dianggap mewakili *pressure drops* dari aliran saat melewati MBG. Untuk pengukurannya dipergunakan *Differential pressure transducer* (DPT) merek *validyne*. Sinyal yang keluar dari DPT dilewatkan ADC sebelum diolah dengan komputer. Hasil pengolahan data berupa *time series signal*, *probability density function* (PDF), dan nilai reratanya.

Sedangkan visualisasi gelembung mikro yang dihasilkan oleh MBG dipergunakan *high speed video camera* dengan kemampuan sampai 5000 fps. Kemudian pengolahan hasil rekaman video ini dilakukan dengan *image processing* yang hasilnya berupa foto/gambar sebaran gelembung mikro dan PDF dari distribusi diameter gelembung. Eksperimen ini dilakukan dengan memvariasikan debit air $Q_L=25, 30, 40, 50, 60, 70$ dan 80 Lpm, dan debit udara $Q_G=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$ dan $0,6$ Lpm.

III. Hasil dan Pembahasan

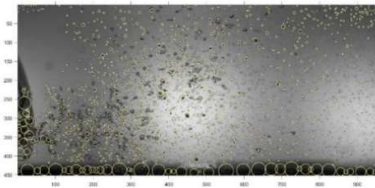
3.1. Hasil Visualisasi

3.1.1. Visualisasi Distribusi Gelembung

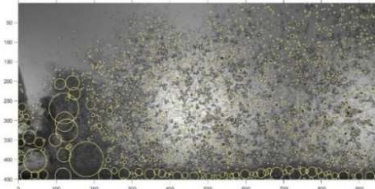
Sebaran gelembung untuk berbagai nilai Q_L dan Q_G ditampilkan pada Gambar 3.(a), (b) dan (c).



(a). $Q_L=25$ Lpm dan $Q_G=0,1$ Lpm



(b). $Q_L=25$ Lpm dan $Q_G=0,4$ Lpm



(c). $Q_L=60$ Lpm dan $Q_G=0,1$ Lpm

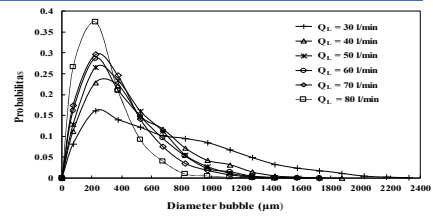
Gambar 3. Visualisasi sebaran gelembung yang dihasilkan oleh MBG.

Sebaran gelembung yang keluar dari MBG pada $Q_L=25$ Lpm dengan $Q_G=0,1$ Lpm dan $Q_L=25$ Lpm dengan debit gas yang lebih besar yaitu $Q_G=0,4$ Lpm ditampilkan pada Gambar 3.(a) dan (b). Pada gambar tersebut terlihat bahwa penambahan debit gas akan sedikit memperbesar ukuran gelembung, namun tidak menambah jumlah gelembung secara signifikan. Hal ini berbeda dengan yang ditunjukkan pada gambar 3.(c), dengan debit air yang lebih besar dan debit gas yang dipertahankan konstan, yaitu $Q_L=60$ Lpm dan $Q_G=0,1$ Lpm, di sini terlihat bahwa jumlah gelembung bertambah banyak secara signifikan dan juga ukurannya lebih kecil. Pengurangan diameter gelembung ini merupakan konsekuensi dari tidak berubahnya debit gas namun dibagi dengan jumlah gelembung yang lebih banyak maka ukurannya akan menjadi lebih kecil.

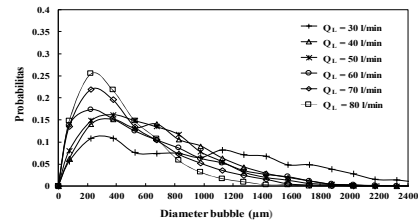
Pecahnya gelembung sehingga menjadi kecil ini diperkirakan karena naiknya tingkat turbulensi aliran air di dalam MBG yang disebabkan bertambahnya debit atau kecepatan air. Hal ini akan terlihat saat melakukan analisis fluktuasi pengukuran *pressure drops*.

3.1.2. Probability Density Function (PDF)

Untuk melihat distribusi ukuran diameter gelembung yang dihasilkan oleh MBG, maka dilakukan analisis statistik dari hasil rekaman video setelah dilakukan *image processing*. Hasil olah statistik tersebut dalam bentuk grafik nilai probabilitas fungsi dari diameter gelembung, atau *probability density function* (PDF), seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4. berikut ini.



(a) $Q_G=0,1$ Lpm



(b) $Q_G=0,6$ Lpm

Gambar 4. Probability Density Function (PDF) pada berbagai debit aliran air dan udara.

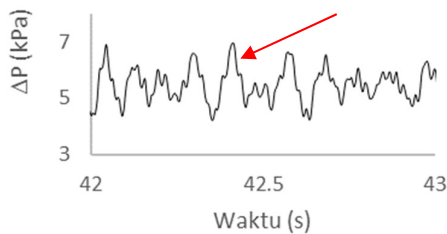
Pada Gambar 4.(a), ditampilkan grafik-grafik PDF fungsi dari diameter gelembung untuk Q_G konstan sebesar 0,1 Lpm dan untuk berbagai nilai Q_L mulai dari 30 sampai 80 Lpm. Pada grafik ini terlihat bahwa semakin besar debit airnya, maka grafik PDF semakin bergeser ke kiri, ke nilai diameter yang lebih kecil dan nilai probabilitas kemunculan gelembung berdiameter yang lebih kecil ini semakin meningkat, artinya jumlahnya bertambah banyak. Hal seperti ini juga terlihat di Gambar 3.(c), yaitu foto yang diambil dari video sebaran gelembung yang keluar dari MBG. Sedangkan pada Gambar 4.(b) diperlihatkan grafik-grafik PDF untuk nilai Q_G yang jauh lebih besar yaitu 600% nya atau 0,6 Lpm. Dalam gambar ini terlihat bahwa rentang distribusi ukuran diameter gelembung menjadi lebih lebar, artinya selain muncul gelembung berdiameter yang lebih kecil lagi, juga muncul gelembung yang berdiameter lebih besar. Namun selain itu nilai probabilitas kemunculan gelembung yang berdiameter kecil juga menurun, artinya jumlahnya berkurang, hal inilah yang tidak dikehendaki. Secara keseluruhan, semakin besar debit udaranya maka diameter rata-rata gelembung akan cenderung membesar.

3.2. Hasil Pengukuran Pressure Drops

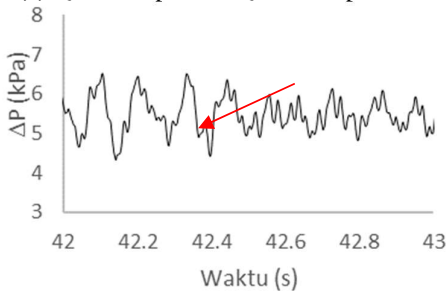
3.2.1. Fluktuasi Nilai Pressure Drops

Hasil pengukuran *pressure drops* (ΔP) dalam bentuk sinyal *time series* dipresentasikan pada Gambar 5. (a), (b) dan (c). Pada saat debit air kecil (Gambar 5.(a), (b)) yaitu $Q_L = 25$ Lpm, terlihat bahwa fluktuasi atau amplitudo dari sinyal *pressure drops*-nya juga kecil, hanya pada kisaran nilai 1,5 kPa. Selain itu, seperti yang ditunjukkan oleh tanda anak panah, tidak ada sub-fluktuasi yang muncul (fluktuasi dengan amplitudo yang jauh lebih kecil). Hal ini

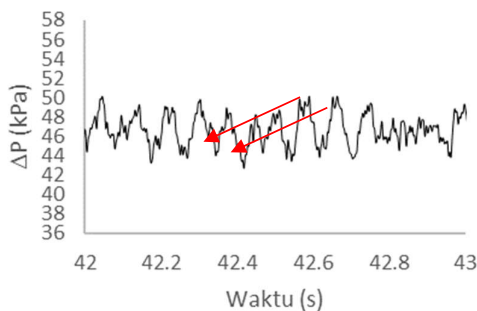
berbeda dengan fluktuasi pada debit air yang lebih besar yaitu $Q_L = 60$ Lpm (Gambar 5.(c)). Selain mempunyai fluktuasi dengan amplitudo yang besar pada kisaran 3 kPa, juga terdapat sub-fluktuasi, seperti yang ditunjukkan oleh tanda anak panah pada Gambar 5. (c). Munculnya sub fluktuasi pada debit air yang lebih besar ini, secara tidak langsung juga mengindikasikan bahwa tingkat turbulensi aliran telah meningkat. Bila naiknya tingkat turbulensi ini dikaitkan dengan peningkatan jumlah dan pengecilan diameter gelembung, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.(c), maka dapat dikatakan bahwa yang menyebabkan adanya peningkatan jumlah dan sekaligus pengecilan diameter gelembung adalah naiknya tingkat turbulensi aliran di dalam MBG.



(a) $Q_L = 25$ Lpm dan $Q_G = 0,1$ Lpm.



(b) $Q_L = 25$ Lpm dan $Q_G = 0,4$ Lpm

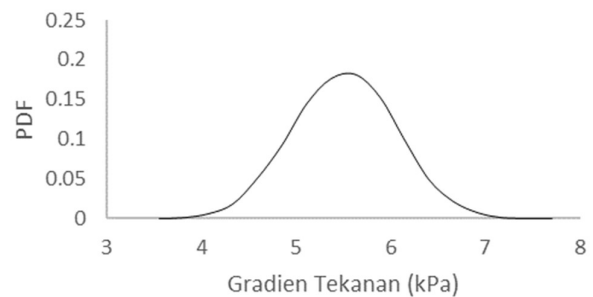


(c) $Q_L = 60$ Lpm dan $Q_G = 0,1$ Lpm

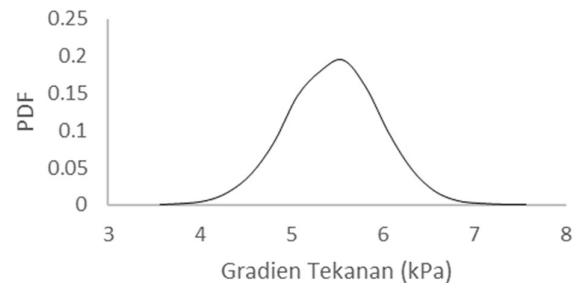
Gambar 5. Sinyal fluktuasi *pressure drops* antara inlet dan outlet MBG

3.2.2. Probability Density Function

Sebaran nilai *pressure drops* yang terukur oleh DPT diperlihatkan pada Gambar 6. (a) dan (b), dalam bentuk PDF (*probability density function*). Antara Gambar 6.(a) pada $Q_L = 25$ Lpm dan $Q_G = 0,1$ Lpm dan Gambar 6. (b) pada $Q_L = 25$ Lpm dan $Q_G = 0,4$ Lpm tidak ada perubahan yang signifikan, baik pada sebaran nilai *pressure drops*-nya maupun pada nilai probabilitasnya, meskipun debit udaranya dinaikkan sebesar 400%-nya. Hal ini identik dengan hasil pengamatan visual sebaran dan ukuran diameter gelembung yang keluar dari MBG (Gambar 3. (a) dan (b)) yang memperkuat dugaan tidak signifikannya pengaruh debit udara terhadap ukuran dan sebaran nilai diameter gelembung.



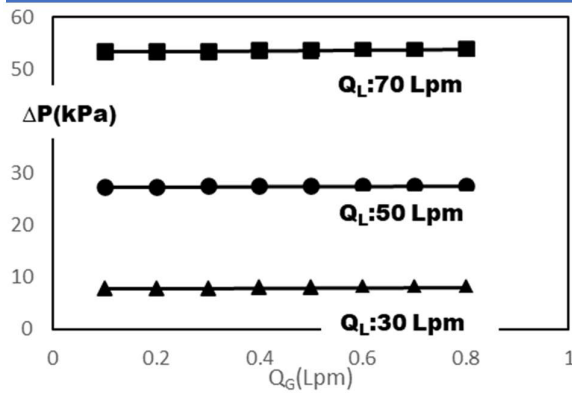
(a). $Q_L = 25$ Lpm dan $Q_G = 0,1$ Lpm.



(b). $Q_L = 25$ Lpm dan $Q_G = 0,4$ Lpm.

Gambar 6. *Probability Density Function* dari hasil pengukuran *pressure drops*.

3.2.3. Nilai rata-rata *Pressure Drops*



Gambar 7. Nilai rata-rata penurunan tekanan fungsi debit udara pada $Q_L = 30, 50$ dan 70 Lpm. Nilai rata-rata *pressure drops* hasil pengukuran ditunjukkan dalam Gambar 7.

Pada grafik ini terlihat lagi bahwa debit air sangat berpengaruh terhadap *pressure drops* sedangkan debit udara hampir tidak mempengaruhi. Hal ini dikarenakan aliran udara atmosfer yang terhisap masuk ke MBG hanya memberikan kontribusi terhadap *pressure losses* setelah udara keluar dari nosel lalu masuk ke *mixing chamber*, dengan panjang laluan kurang dari 45 mm. *Pressure drops* atau *pressure losses* yang terjadi dalam MBG, seperti pada umumnya aliran, terdiri dari 3 komponen, yaitu *pressure drops* karena adanya gesekan/*friction* (Δp_f), gravitasi (Δp_g), dan akselerasi (Δp_a), seperti ditunjukkan oleh persamaan (1). *Pressure drops* karena akselerasi ini terjadi, baik karena perubahan arah maupun perubahan nilai kecepatannya.

$$\Delta p = \Delta p_f + \Delta p_g + \Delta p_a \dots\dots\dots(1)$$

Berdasarkan geometri dan ukuran MBG, penurunan tekanan karena elevasi atau gravitasi (Δp_g) ini, nilainya berkisar pada angka 0,5 kPa dan nilai penurunan tekanan ini tidak tergantung pada besarnya kecepatan aliran. Sedangkan penurunan tekanan karena gesekan (Δp_f), nilai maksimalnya (pada kecepatan yang paling tinggi), berkisar pada nilai 0,4 kPa. Ketika nilai-nilai ini dibandingkan dengan nilai fluktuasi (Gambar 5) dan nilai rata-ratanya (Gambar 7) dari penurunan tekanan, maka dapat diperkirakan bahwa penurunan tekanan aliran terbesar disebabkan oleh karena adanya percepatan (Δp_a), baik karena perubahan arah kecepatan aliran spiral (*swirl*) maupun perubahan nilai kecepatan saat aliran campuran air-udara memasuki *mixing chamber* yang diameternya mengecil menjadi 25% nya.

Berdasarkan analisis tersebut maka dapat diperkirakan bahwa faktor yang dominan yang mempengaruhi sebaran dan ukuran gelembung adalah adanya aliran air yang berbentuk spiral (*swirling flow*). Sehingga upaya untuk mendapatkan kinerja MBG yang lebih baik dilihat dari sebaran dan ukuran gelembung yang dihasilkan dapat dikatakan berhasil.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat dituliskan kesimpulan berikut ini :

1. Kenaikan debit air secara dominan telah mempengaruhi penambahan jumlah dan memperkecil diameter gelembung yang dihasilkan oleh MBG dari pada debit udara.
2. Pada debit air yang besar, telah muncul fluktuasi penurunan tekanan dengan amplitudo yang sangat kecil (sub-fluktuasi), selain fluktuasi dengan amplitudo yang besar.
3. Munculnya sub-fluktuasi ini secara tidak langsung telah mengindikasikan adanya kenaikan tingkat turbulensi aliran dalam MBG, yang mengakibatkan selain diameter gelembung yang dihasilkan lebih kecil, jumlahnya juga meningkat.

Ucapan Terima kasih

Diucapkan terimakasih kepada Departemen Teknik Mesin dan Industri FT UGM yang telah memberikan hibah penelitian di tahun 2021 sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan lebih baik.

Referensi

- [1] Sadatomi, M., Kawahara, A., Matsuura, H., Shikatani, S., 2012, Microbubble 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.
- [2] Deendarlianto, Wiratni, Alva E Tontowi, Indarto, Anggita Gigih W Iriawan., The Implementation Of A Developed Microbubble Generator On The Aerobic Wastewater Treatment, 2015, International Journal of Technology, 5, 327-333
- [3] Temesgen, T. (2017). Micro and nanobubble technologies as a new horizon for water-treatment. Advances in Colloid and Interface Science, 42.
- [4] Wibawa Endra Juwana dkk. (2018). Hydrodynamic characteristics of the microbubble dissolution in liquid using orifice type microbubble generator, Journal of Chemical Engineering Research and Design IAI (2019) 436-448.
- [5] Ohnari, Fisheries experiments of cultivated shells using microbubbles technique, Journal of the Heat Transfer Society of Japan 40 (160) (2001) 2–7 (in Japanese)
- [6] Sadatomi, M., Kawahara, A., Kano, K., and Ohtomo, A., 2005, Performance of New Micro-Bubble Generator With A Spherical Body in Flowing Water Tube, Experimental Thermal and Fluid Science, 29, 615-623.

- [7] Tabei, K., Haruyama, S., Yamaguchi, S., 2007, Study of Micro Bubble Generation by a Swirl Jet, Journal of Environment and Engineering, 2(1), 172 – 182.
- [8] Parmar, R., Majumder, S.K., 2013, Microbubble generations and Aided Transport Process Intensification- A State –of – The Report, Chemical Engineering and Processing, 64, 79-97.
- [9] Drajat Indah Mawarni, Indarto, Deendarlianto, 2022, Pengaruh Jarak Nosel Udara dengan *outlet* Terhadap Distribusi Ukuran *Bubble* yang Dihasilkan oleh MBG Tipe *Swirl*, Jurnal Rekayasa Mesin, art.6, hal. 360-371.