

Pengaruh Debit Fluida Air terhadap Distribusi Diameter *Bubble* pada *Microbubble Generator* Tipe *Orifice-Porous Tube*

Drajat Indah Mawarni^{a,*}, Agus Dwi Korawan^b

^{a,b} Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu

*Email : drajad_i@yahoo.com

Abstract

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* (L_w), *pressure drop*, dan distribusi diameter *bubble* yang terbentuk. Pada penelitian ini, *performa* atau karakteristik *microbubble generator* dipelajari dengan melakukan penelitian pengaruh perubahan debit air (Q_L) 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 μm .

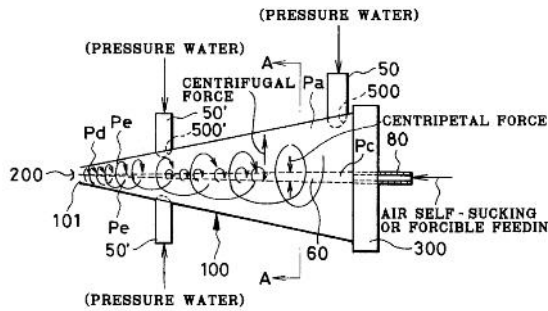
Keywords: *microbubble generator*, distribusi diameter *bubble*, *swirl*, *cyclone*, *porous tube*

1. Pendahuluan

Microbubble didefinisikan sebagai *bubble* yang memiliki nilai diameter dalam rentang millimeter dan mikrometer. Transfer massa yang dihasilkan oleh dispersi *bubble* ini juga berpengaruh dalam bidang biologi, kimia, juga aplikasi di lingkungan. Analisis sederhana menunjukkan penggunaan *microbubble* menjadi solusi atas beberapa permasalahan yang berhubungan dengan aliran dua fase, karena dapat menghasilkan nilai kontak antar permukaan fase gas dan cair yang besar. Gelembung yang kecil ini mengakibatkan *bubble* bertahan lama dan kecepatan slip yang rendah sehingga diharapkan *microbubble* dapat meningkatkan efisiensi kontak antara gas dan cairan (Parmar & Majumder, 2013). Alat penghasil *microbubble* adalah *microbubble generator*. Alat ini menjadi salah satu solusi atas beberapa permasalahan yang terkait dengan aliran dua fase. Untuk pengolahan air yang mana dengan teknik ini dapat meningkatkan kandungan oksigen di dalam air (Afisna dkk., 2017). Maka dari itu, karakteristik *Microbubble Generator* tipe *Orifice* dengan *Porous Tube* dari *Wiremesh* 200 menggunakan *Cyclone* dilakukan untuk mendapat karakteristik distribusi *bubble* dengan ukuran *micro*. Adapun tujuan secara umum adalah selain untuk mengetahui karakteristik *bubble* juga untuk mengetahui *performa microbubble generator* yang dihasilkan oleh *microbubble generator jenis orifice* dengan *Porous Tube* dari *Wiremesh* 200 menggunakan *Cyclone*.

2. Kerangka Teori

Microbubble merupakan *bubble* yang memiliki ukuran diameter dalam skala yang kecil dengan rentang antara milimeter dan mikrometer. Para ahli memiliki pendapat yang berbeda – beda mengenai definisi dari *microbubble* itu sendiri. Menurut Sadatomi dkk., (2012), *microbubble* adalah *bubble* yang memiliki ukuran kecil dengan diameter kurang dari 100 μm dan memiliki karakter berupa kelarutan yang tinggi di dalam air. Sedangkan, Temesgen dkk., (2017) menjelaskan bahwa *microbubble* adalah *bubble* kecil yang memiliki batasan ukuran 10 – 50 μm . *Microbubble* dengan jenis *swirling fine microbubble generator* diciptakan oleh Ohnari pada tahun 2002 dengan nomor paten US 6382601. Seperti pada Gambar 1, *microbubble generator* jenis ini memiliki bagian container dengan bentuk seperti botol dimana cairan yang masuk tersedia memiliki arah tangensial pada bagian permukaan yang melingkar di dinding dalam. Udara disediakan dari ruangan yang berada tengah container, dan keluaran dari campuran udara dan cairan diletakkan di bagian ujung dari ruang container. Alat ini memiliki ukuran yang cenderung kecil dan struktur yang sederhana sehingga mudah di manufaktur.

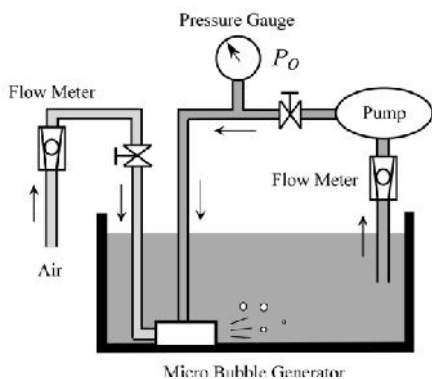


Gambar 1. *Swirling Fine Bubble Generator* oleh Ohnari (2002).

Mula – mula, air bertekanan masuk melalui inlet dengan arah tangensial terhadap *container* kerucut dan terbentuk aliran pusaran didalamnya. Lubang udara akan terbuka di tengah *container*. Ketika aliran pusaran terbentuk maka akan dihasilkan tekanan negative sepanjang pipa secara aksial. Tekanan negative ini akan mengakibatkan udara terhisap ke dalam *container* melalui lubang masuk udara. Seiring penyempitan volume *container* kerucut, kecepatan aliran pusaran akan mengalami kenaikan.

Aliran pusaran yang dihasilkan akan menimbulkan gaya sentrifugal pada air dan gaya sentripetal ada udara secara bersamaan yang disebabkan oleh beda nilai massa jenis. Perbedaan kecepatan putar air dan udara akan mengakibatkan pemisahan antara air dan udara serta kavitasi terbentuk dan *microbubble* dapat dihasilkan pada bagian *outlet*.

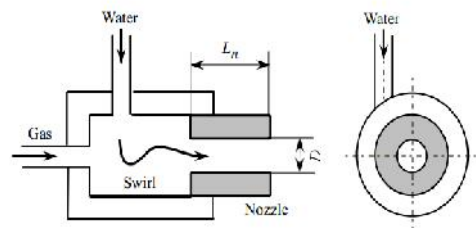
Microbubble generator yang dirancang oleh Tabei dkk. pada tahun 2007 merupakan *microbubble generator* dengan tipe *swirling jet*. Tipe ini sering digunakan karena mekanismenya yang mudah dan kemampuan dalam menghasilkan gelembung udara yang efektif (Tabei dkk., 2007). Melalui *microbubble generator* tipe *swirling jet* ini, karakteristik yang dibahas pada penelitian dengan alat ini adalah bagian *mean diameter* serta *bubble diameter*. Metode dalam pengambilan data menggunakan transmisi cahaya yang akan mengalami perubahan yang dipengaruhi oleh naiknya gelembung udara ke permukaan air.



Gambar 2. Skema Rangkaian Uji oleh Tabei dkk. (Tabei dkk, 2007)

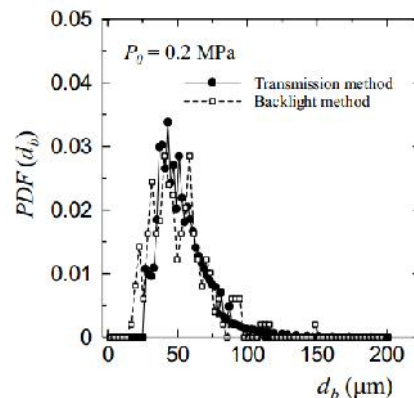
Skema diatas menjelaskan bahwa sistem sirkulasi berjalan ketika air bertekanan dipompa ke *microbubble generator* dan kembali ke bejana yang menampung. Alat ini terdiri dari *swirl chamber* dan *nozzle* yang berbentuk silinder. Diameter dalam pada bagian masuknya fluida

terpasang dengan *chamber* sebesar 10 mm dan aliran *swirl* terbentuk di dalam *bubble generator* oleh aliran masuk dari air dalam arah tangensial terhadap dinding dalam. Panjang *nozzle* (L_n) sebesar 47,5 mm. Tiga tipe *nozzle* yang digunakan untuk diameter memiliki ukuran 7, 12, dan 15 mm. Tekanan masuk yang diberikan kepada *swirl chamber* bernilai konstan yaitu berkisar dari 0,05 – 0,4 MPa. Udara akan terhisap secara otomatis karena efek tekanan yang bernilai negative yang disebabkan aliran pusaran, namun ketika laju aliran bernilai kecil, udara disediakan oleh udara bertekanan. Aliran pusaran yang berputar dengan kecepatan tertentu terjadi di dalam *nozzle* dan hasil gambar dari pusaran tersebut diambil dengan kamera berkecepatan tinggi.



Gambar 3. Detail dari *Microbubble Generator* (Tabei dkk, 2007)

Gambar 4 merupakan penjelasan dari kesimpulan selama pengambilan data dengan transmisi cahaya. Pada gambar tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa ukuran diameter yang dihasilkan dari gelembung udara yang paling sering berkisar antara 40 – 70 μm .

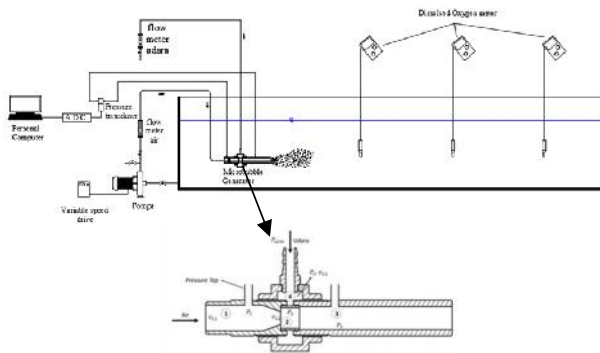


Gambar 4. Probability Density Function (PDF) dari *Microbubble Generator* Tipe *Swirling Jet* (Tabei dkk, 2007)

3. Metodologi

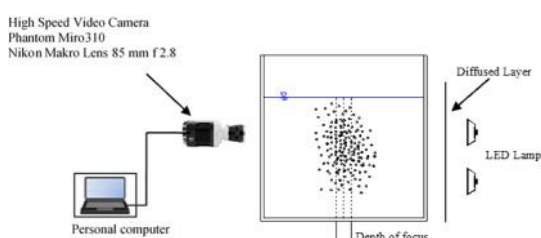
Skema peralatan untuk penelitian karakteristik *microbubble generator* ditunjukkan pada gambar 1, merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Wibawa et al. (2018) dengan bentuk *microbubble generator* yang berbeda. Air bersih digunakan sebagai fluida cair dan udara pada tekanan 1 atmosfer sebagai fluida gas. *Microbubble generator* yang

digunakan adalah tipe *orifice-porous tube*. Seksi uji berupa bak berdinding kaca dengan ketebalan 13 mm, panjang 280 cm, lebar 60 cm, tinggi 60 cm dan berisi air dengan ketinggian 40 cm. *Microbubble generator* ditempatkan 20 cm dari permukaan air dan pada pertengahan lebar bak. Air disirkulasikan secara tertutup dengan menggunakan pompa. Debit sirkulasi air divariasikan dengan cara mengatur putaran pompa menggunakan *variable speed drive*. Debit sirkulasi air diukur dengan *flow meter* tipe rotameter air. Udara mengalir dari atmosfer menuju ke *microbubble generator* secara alami karena tekanan di dalam *microbubble generator* lebih rendah dari tekanan udara atmosfer. Debit udara yang mengalir diatur dengan katup dan diukur dengan rotameter. Perbedaan tekanan pada sisi masuk dan sisi keluar air pada *microbubble generator* diukur dengan *pressure transducer* yang dihubungkan *analog to digital converter* (ADC). Data pengukuran yang telah dikonversi ke data digital oleh ADC kemudian direkam oleh personal komputer.



Gambar 5. Skema peralatan penelitian karakteristik *microbubble generator*

Pengukuran distribusi ukuran bubble dilakukan dengan metode analisis citra digital. Secara garis besar pelaksanaan metode ini dibagi menjadi dua bagian yaitu perekaman image dengan kamera digital dan pemrosesan image dengan menggunakan software matlab 2016a.



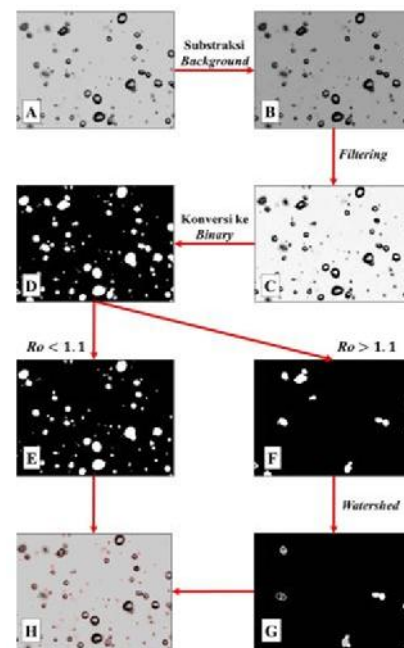
Gambar 6. Skema *image processing*

Pada penelitian ini untuk merekam image bubble digunakan shadow image technique. Pada shadow image technique bubble yang akan direkam terletak diantara kamera, layer pembaur dan sumber cahaya. Bubble akan memantulkan cahaya, sehingga yang ditangkap oleh kamera adalah bayangan (shadow) bubble yang berupa citra gelap. Skema peralatan image ditunjukkan pada gambar (6).

Pengambilan data dilakukan, setelah kamera di atur kecepatan perekaman, aperture dan focal length lensanya. Kecepatan perekaman diatur pada 3000 fps (*frame per second*). *Aperture* diatur pada 2.8 dan *focal length* pada 85 mm. Pada kondisi ini, apabila jarak obyek dengan kamera 40 cm akan diperoleh kedalaman fokus kurang lebih 5 mm. (Wibawa, et al., 2018). Hasil perekaman dengan high speed video camera adalah file video berekstensi *cine*. Sebelum dilakukan *image processing*, file video dikonversi ke file video berekstensi *avi*. Kemudian file video diekstrak menjadi file video berekstensi *tif*. *Image processing* dilakukan dengan menggunakan software matlab 2016a yang dilengkapi dengan *image processing toolbox*.

4. Hasil dan Pembahasan

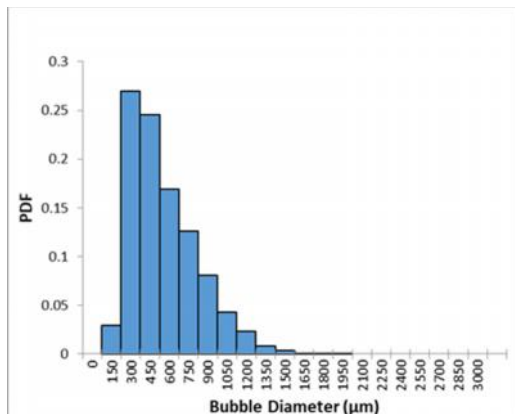
Distribusi diameter *microbubble* didapatkan dengan melakukan *digital image processing* dengan menggunakan software Matlab 2016a. Untuk melakukan *digital image processing* maka diperlukan langkah – langkah seperti tertera pada Gambar 7 berikut ini :



Gambar 7. Langkah – langkah *digital image processing*, Raw Image (A), Substraksi Background (B), Filtering Image (C), Binary Image (D), $Ro < 1,1$ Image (E), $Ro > 1,1$ Image (F), Watershed Image (G), Hasil Image Processing (H)

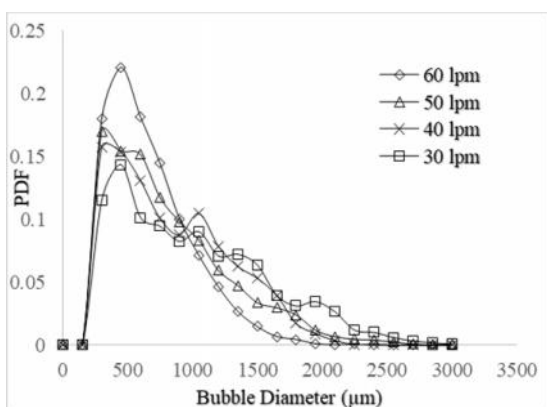
Dari ekstraksi data image processing, dapat disusun suatu distribusi diameter *microbubble* dan didapatkan grafik PDF terhadap klasifikasi rentang diameter *bubble*. Distribusi diameter *bubble* dinyatakan dalam probabilitas. Gambar (8) merupakan histogram distribusi *bubble* pada variasi $QL = 60$ lpm dan $Qg = 0,2$ lpm, dengan rentang $150 \mu m$. Dari gambar tersebut tampak bahwa probabilitas terbesar terbentuknya *microbubble* yaitu pada rentang ukuran $150 - 300 \mu m$. Probabilitas rentang ukuran *microbubble* ini terjadi disemua variasi QL dan Qg pada penelitian ini. Pada gambar (5) nilai

PDF dengan rentang 150 – 300 μm menunjukkan nilai 0,269, sedangkan *bubble* dengan rentang ukuran 0 – 150 μm menunjukkan nilai PDF yang kecil yaitu 0,029. Sedangkan rentang klasifikasi yang lebih besar dari 150 – 300 μm mengalami trend penurunan hingga rentang *bubble* terbesar yang terbentuk oleh *microbubble generator*.



Gambar 8. Histogram distribusi diameter *bubble* pada variasi $Q_L = 60$ lpm dan $Q_G = 0,2$ lpm

Pengaruh Q_L terhadap probabilitas *bubble* yang terbentuk ditunjukkan pada gambar (9). Gambar tersebut menunjukkan variasi Q_L dengan nilai Q_G 0,2 lpm. Berdasarkan grafik yang ada dapat diketahui bahwa, nilai PDF terbesar terjadi pada rentang diameter *bubble* 300 – 450 μm . PDF yang terbentuk tersebut paling besar di angka 300 μm dan terjadi pada Q_L 60 lpm yaitu sebesar 0,221. Seiring penurunan Q_L maka nilai PDF juga semakin kecil, dimana nilai PDF terkecil terjadi pada Q_L 30 lpm yaitu, 0,157.



Gambar 9. Pengaruh Q_L terhadap distribusi diameter *bubble* pada $Q_G = 0,2$ lpm

5. Kesimpulan

Debit air mempengaruhi distribusi diameter *bubble* yang terbentuk secara signifikan, semakin besar debit air maka *bubble* yang terbentuk memiliki ukuran diameter yang lebih kecil.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin menyampaikan penghargaan yang tulus untuk laboratorium *Fluid Mechanics* Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada dan Video Kecepatan Tinggi Dukungan perangkat kamera dari Chevron Indonesia

Daftar Pustaka

- Ishikawa, M., Irabu, K., Teruya, I., Nitta, M., 2009, PIV Measurement of a Concentration Flow Using Micro-Bubble Tracer, Proc. The 6th International Symposium on Measurement Techniques for Multiphase Flow.
- Kukizaki, M., Goto, M., 2007, Spontaneous Formation behavior of Uniform sized Microbubbles From Shirasu Porous Glass (SPG) Membranes in The Absence of Water Phase Flow, *Colloids and Surface*, 296,174-181.
- Khuntia, S., Majumdar, S.M., Ghosh, P., 2012, Microbubble Aided Water and Wastewater Purification : A Review, *Rev Chemical Engineering*, 28, 191-221.
- Lau, Y. M., Deen, N. G., & Kuipers, J. A. M. (2013). Development of an image measurement technique for size distribution in dense bubbly flows. *Chemical Engineering Science*, 94, 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2013.02.043>.
- Lecofree, Y., Domene M., Marcoz, J. (1985). United States Patent (19), (19).
- Majid, A. I., Nugroho, F. M., Juwana, W. E., Budhijanto, W., Deendarlianto, & Indarto. (2018). On the performance of venturi-porous pipe microbubble generator with inlet angle of 20° and outlet angle of 12°. *AIP Conference Proceedings*, 2001(August). <https://doi.org/10.1063/1.5050000>.
- 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.
- Sadatomi, M., Kawahara, A., Kano, K., & Ohtomo, A. (2005). Performance of a new micro-bubble generator with a spherical body in a flowing water tube. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 29(5), 615–623. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2004.08.006>.
- 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/10.1016/j.expthermflusci.2012.03.002>.
- Serizawa, S., Inui, T., Eugchi, T., 2005, Microbubble-Containing Milky Air that Rises in Vertical Cylinder-Flow Characteristic and The Phenomenon of Pseudo-Laminar Flow of Bubbles in Aqueous System, *Konsoryu*, 19, 335-343.
- Tabei, K., Shirai, H., Haruyama, S., Takakusagi, F., & Yamaguchi, S. (2007). Study of Micro Bubble Generation by a Swirl Jet. *Journal of Environment and Engineering*, 2(1), 172–182. <https://doi.org/10.1299/jee.2.172>.

- Takahashi, M., 2005, Zeta Potential of Microbubble in Aqueous Solution : Electrical Properties of Gas-water Interface, *Journal Of Physical Chemistry, B* 109, 21858-21864.
- Temesgen, T., Bui, T. T., Han, M., Kim, T. il, & Park, H. (2017). Micro and nanobubble technologies as a new horizon for water-treatment techniques: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 246(June), 40–51. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.06.011>.
- Yoon dkk. (1991). Process and Apparatus For Separating Fine Particle by Micro-Bubble Flootation Together with a Process and Apparatus for Generation of Microbubble. *US Patent, US4981582*.
- 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 I4I* (2019) 436-448.
- Wiratni Budhijanto,dkk dkk. (2016). Application of MicroBubble Generator oas Low Cost and High Efficient Aerator for Sustainable Fresh Water Fish Farming, *International seminar on Fundamental and Application of Chemical Engineering 2016*.