



PAPER – **OPEN ACCESS**

Pengaruh Sudut Puntiran Baffle pada Microbubble Generator Venturi terhadap Karakteristik Gelembung Mikro

Author : Fatma Roshanti, dkk
DOI : 10.32734/ee.v6i1.1884
Electronic ISSN : 2654-7031
Print ISSN : 2654-7031

Volume 6 Issue 1 – 2023 TALENTA Conference Series: Energy and Engineering (EE)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).

Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



Pengaruh Sudut Puntiran *Baffle* pada *Microbubble Generator* Venturi terhadap Karakteristik Gelembung Mikro

Fatma Roshanti^a, Sigit Deddy Purnomo Sidhi^{a,c}, Samsul Kamal^{a,b}, Deendarlianto^{a,b*},
Indarto^{a,b}

^aDepartemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika 2, Yogyakarta 55281

^bPusat Studi Energi, Universitas Gadjah Mada, Sekip – KIA Kampus UGM, Yogyakarta 55281

^cMekanisasi Perikanan, Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong, Jl. K. Pattimura, Papua Barat 98401

fatmaroshanti@gmail.com, sigit.deddy@kpk.go.id, samsul@ugm.ac.id, deendarlianto@ugm.ac.id, indarto@ugm.ac.id

Abstrak

Gelembung mikro (*microbubble*) telah menjadi salah satu topik penelitian yang sering diperbincangkan dalam dua dekade terakhir ini. Berbagai inovasi serta pengembangan desain telah banyak dilakukan untuk meningkatkan kinerja *microbubble generator* (MBG). Studi eksperimental dengan penambahan puntiran *baffle* dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik gelembung yang dihasilkan oleh MBG venturi. Sudut puntiran *baffle* divariasikan 30° dan 60° yang ditempatkan pada bagian *inlet* venturi. Debit air akan diatur sebesar 40 – 60 lpm, sedangkan untuk debit udara 0,2 – 0,6 lpm. MBG akan diposisikan di dalam kolam uji transparan yang telah diisi dengan air. Pola aliran *bubbly* akan direkam dengan kamera kecepatan tinggi dan sensor *differential pressure transducer*. Data yang telah didapat akan diolah lebih lanjut menggunakan MATLAB R2023a dengan metode pengolahan citra dan pengolahan sinyal digital. Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan sudut puntiran *baffle* dan debit air berbanding terbalik dengan kecepatan naik dari gelembung, sedangkan peningkatan debit udara memiliki pengaruh yang sebaliknya. Semakin besar sudut puntiran *baffle*, semakin besar energi maksimal *wavelet* yang dihasilkan.

Kata Kunci: Sudut puntir; venturi; kecepatan naik gelembung; analisis *wavelet*

Abstract

Microbubbles have become one of the most discussed research topics in the last two decades. Various innovations and developments have been carried out to improve the *microbubble generator's* (MBG) performance. Experimental studies with the addition of twisting baffles were conducted to identify the characteristics of the bubbles produced by the MBG venturi. The twisting angle varies between 30° and 60° and is placed at the inlet venturi. The water flowrates set at 40 - 60 lpm, while the air flowrates will be 0.2 - 0.6 lpm. The MBG was placed in a transparent test pool filled with water. A high-speed video camera and a differential pressure transducer sensor recorded the bubbly flow behaviour. The data that has been obtained will be further processed using MATLAB R2023a with image processing and digital signal processing methods. The analysis results show that the increase in twisting angle and water flow rate is inversely proportional to the rising velocity of the bubbles, while the increase in air flow rate has the opposite effect. The greater the angle of twist of the baffle, the greater the resulting maximum wavelet energy.

Keywords: Twisting angle; venturi; rising bubble velocity; wavelet analysis

1. Pendahuluan

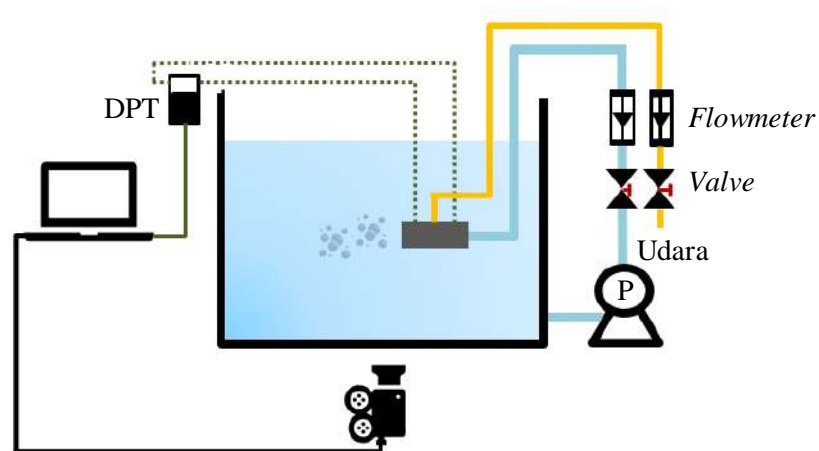
Gelembung mikro (*microbubble*) telah menjadi salah satu topik penelitian yang sering diperbincangkan dalam dua dekade terakhir ini. Gelembung mikro didefinisikan sebagai gelembung dengan ukuran dalam interval antara milimeter dan nanometer [1]. Waktu retensi yang lama didalam cairan, kecepatan naik yang lambat, serta laju perpindahan massa gas-likuid yang tinggi merupakan beberapa karakteristik penting yang dimiliki gelembung mikro [2]. Dengan potensi yang dimilikinya, gelembung mikro dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kadar kelarutan oksigen didalam perairan [3], metode alternatif dalam menurunkan nilai COD dalam pengolahan air limbah [4], meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan ikan [5], serta meningkatkan kualitas dan hasil produksi pada tanaman rumah kaca [6]. Secara umum, proses pembentukan gelembung mikro dapat dilakukan melalui metode hidrodinamis, akustik, elektrokimia, serta agitasi mekanik [7]. Dari beberapa metode yang telah dijelaskan sebelumnya, metode hidrodinamis memiliki keunggulan karena dapat diaplikasikan langsung pada sektor lingkungan. MBG tipe venturi merupakan salah satu contoh MBG yang menerapkan prinsip hidrodinamika. MBG venturi memiliki konstruksi yang sederhana dan rendah konsumsi daya [8].

Berbagai upaya signifikan telah dilakukan untuk dapat memproduksi gelembung mikro sekecil mungkin dengan konsumsi daya yang rendah. Penerapan bahan berpori pada MBG tipe *orifice* dapat menghasilkan gelembung berukuran 300 – 1000 μm [9]. Pembangkitan aliran pusaran pada MBG tipe *swirl* dapat meningkatkan proses pembentukan gelembung mikro [10], [11]. Aplikasi aliran pusaran pada MBG venturi dapat memperkuat proses pertumbuhan gelembung sehingga memungkinkan terbentuknya gelembung mikro [12]. Proses dispersi gelembung mikro dapat meningkat secara intensif melalui penggunaan *baffle* internal pada MBG venturi [13]. Selain itu, parameter kondisi kerja seperti rasio kecepatan air dan udara juga turut mempengaruhi mekanisme pembangkitan gelembung di dalam MBG [7]. Dari beberapa penelitian yang telah dilaporkan, investigasi mengenai pengaruh sudut puntiran *baffle* pada MBG venturi belum banyak dilakukan.

Pada penelitian kali ini, kebaruan desain dari MBG dengan menambahkan *baffle* pada bagian *inlet* venturi diperkenalkan untuk dapat menginduksi aliran pusaran di dalam MBG venturi. Studi eksperimental ini akan berfokus pada investigasi pengaruh sudut puntiran *baffle* terhadap perilaku dan kecepatan naik gelembung, serta analisis sinyal tekanan melalui metode *wavelet*. Sudut puntiran akan divariasikan sebesar 30° dan 60°. Perilaku dari aliran *bubbly* akan direkam kemudian diolah menggunakan metode pengolahan citra dan sinyal digital.

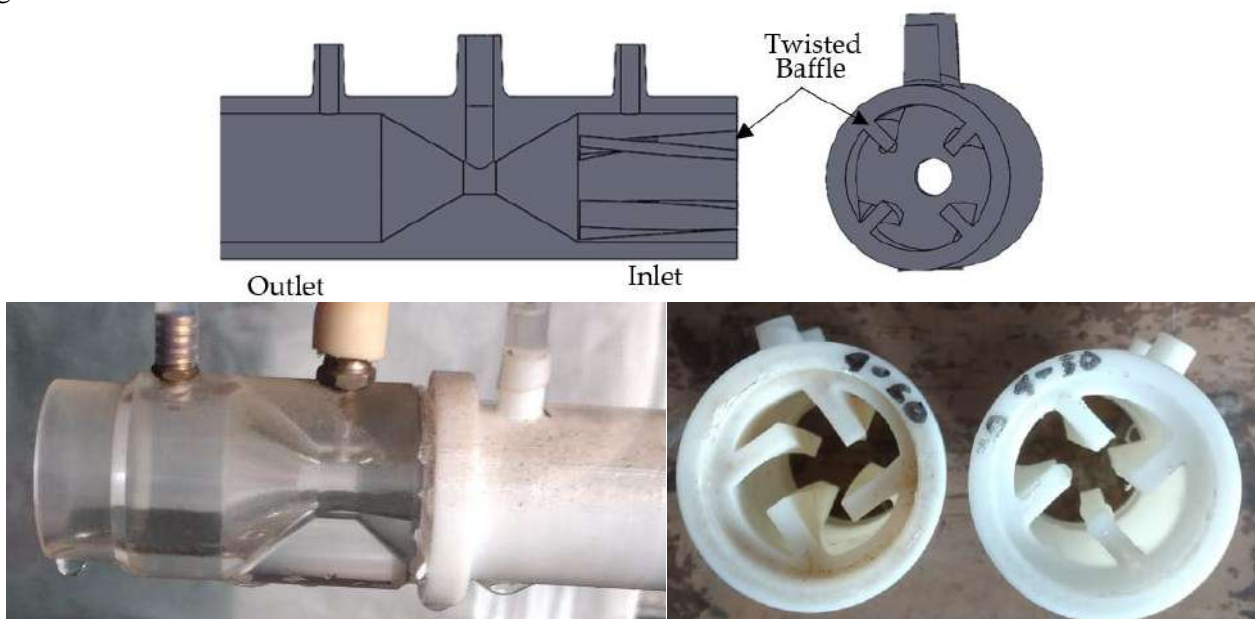
2. Metodologi

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida, Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Gambar 1 menunjukkan rincian peralatan eksperimen yang digunakan selama proses pengambilan data. Pompa akan mensirkulasikan air dari kolam menuju ke MBG melalui pipa PVC. Debit aliran air akan diatur melalui bukaan *valve* yang divariasikan pada 40 – 60 lpm melalui pembacaan *rotary water flowmeter*. Tekanan vakum yang terjadi di dalam MBG akan menciptakan aliran udara natural dari atmosfer menuju ke dalam MBG. Debit udara yang masuk kemudian akan dibatasi melalui bukaan *valve* sebesar 0.2 – 0.6 lpm dengan interval 0.2 lpm tiap variasinya. *Flowmeter* udara digunakan untuk mengukur debit udara yang masuk ke dalam MBG.



Gambar 1 Diagram skema peralatan eksperimen

MBG tersusun atas bagian *inlet*, konvergen, *throat*, divergen, dan *outlet*. Pada bagian *inlet*, ditempatkan *baffle* dengan sudut puntir yang nantinya akan divariasikan. *Inlet* dimanufaktur dengan metode 3D *printing* dengan bahan PLA, sedangkan konstruksi selain bagian *inlet* terbuat dari bahan akrilik. Bagian *baffle* dan venturi kemudian disambung dengan menggunakan ulir. MBG akan diposisikan 2/3 dari dasar kolam uji transparan yang telah diisi dengan air.

Gambar 2 MBG Venturi dengan *baffle* internal

Pola aliran dari MBG akan divisualisasikan menggunakan kamera video kecepatan tinggi Phantom Miro M310 dengan lensa Nikon AF 40. Proses perekaman akan diatur pada resolusi 768 x 480 piksel dengan, *aperture* 2.8, *focal length* 85 mm, *depth focus* 0,5. Kamera diposisikan sekitar 40 cm dari obyek perekaman. Hasil visualisasi berupa data video akan dianalisis dengan metode pengolahan citra digital melalui perangkat lunak MATLAB R2023a untuk mendapatkan data gelembung yang terbentuk. Diameter rata-rata gelembung dapat dicari melalui persamaan sebagai berikut:

$$d_{32} = \frac{\sum d_{bi}^3}{\sum d_{bi}^2} \quad (1)$$

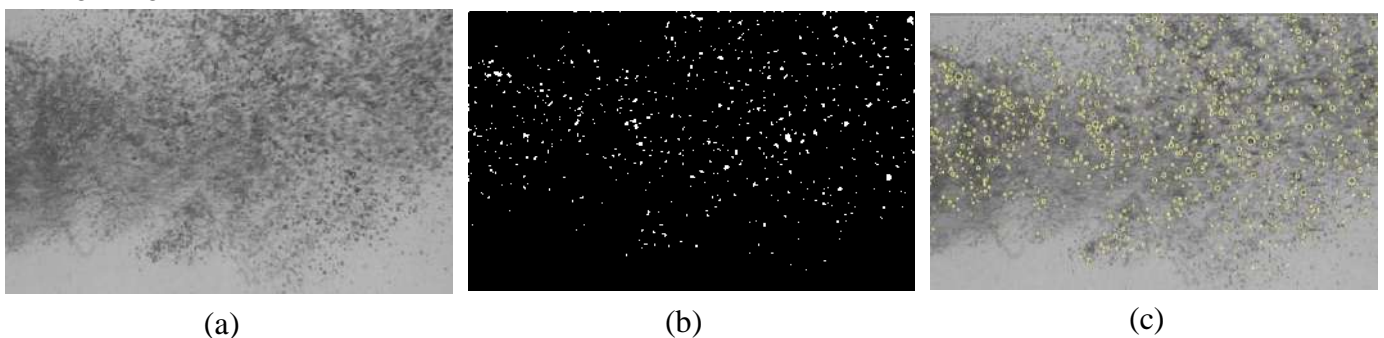
Perilaku dari aliran *bubbly* juga akan dianalisis dengan metode pengolahan sinyal digital. Data sinyal diperoleh dari hasil pembacaan sensor tekanan Valydine P55D yang ditempatkan pada bagian *inlet* dan MBG. Data *pressure drop* yang telah didapat kemudian akan diolah dengan metode pengolahan sinyal digital melalui teknik transformasi *wavelet* pada perangkat lunak MATLAB R2023a.

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (2)$$

3. Hasil dan Pembahasan

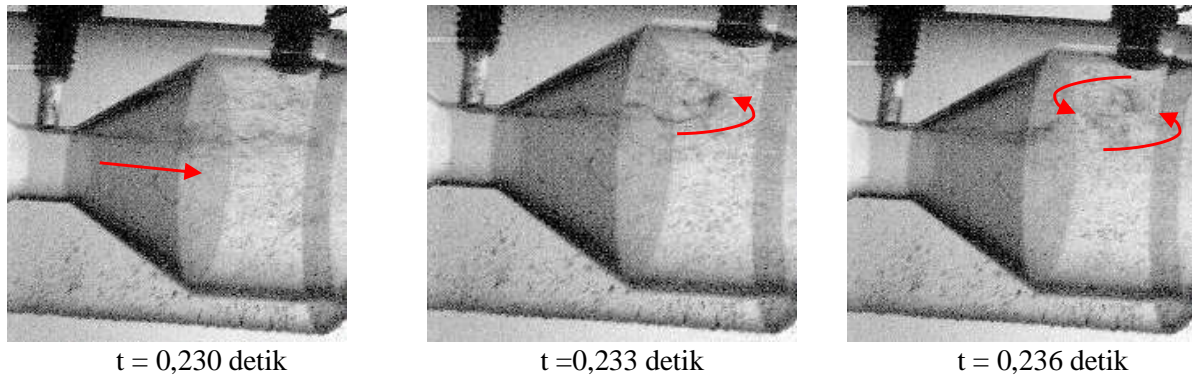
3.1. Pengolahan Citra

Ukuran gelembung merupakan salah satu parameter penting yang mempengaruhi sifat dan perilaku dari gelembung mikro. Pengukuran gelembung mikro dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai metode, seperti *digital image analysis*, *conductivity probes*, *wire mesh*, dll. Dari beberapa metode yang telah disebutkan sebelumnya, metode *digital image analysis* atau pengolahan citra memiliki keunggulan tidak adanya penetrasi sensor kedalam seksi uji sehingga dapat meminimalisir terdeformasinya gelembung yang telah terbentuk dan meningkatkan akurasi perhitungan. Metode pengolahan citra yang diadaptasi dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [9] akan digunakan selama pengujian ini. Aplikasi MATLAB R2023a digunakan selama proses pengolahan citra dengan menggunakan teknik *region proposional*. Gambar 3 memperlihatkan tahapan pengolahan citra untuk pengukuran diameter gelembung. Pertama, gambar original akan dikonversi menjadi gambar *binary* (a). Gelembung yang terindikasi tumpang tindih akan di pisahkan dari gelembung tunggal untuk olah lebih lanjut sehingga didapatkan objek gelembung tunggal (b). Objek gelembung tunggal dan gelembung tumpang tindih yang telah diproses selanjutnya akan digabung kembali untuk dilakukan validasi (c).



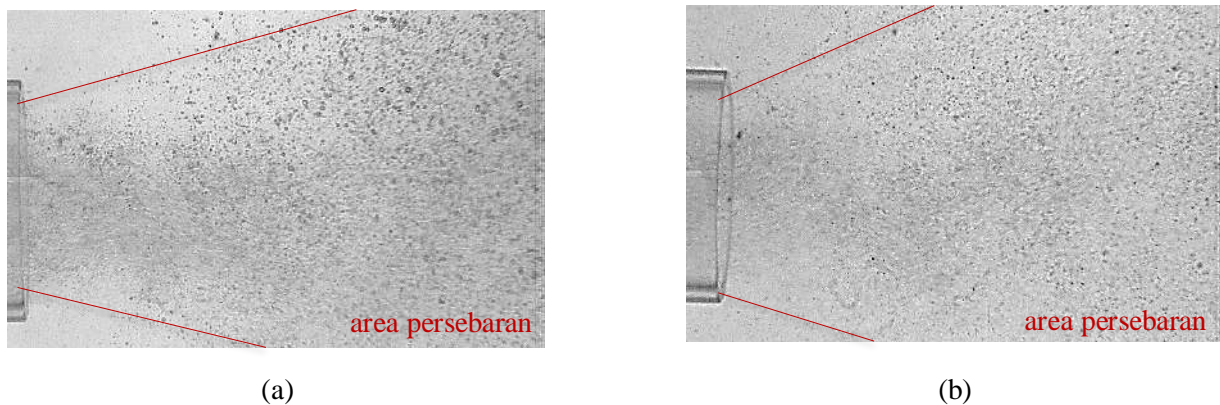
Gambar 3 Tahapan pengolahan citra (a) Gambar Original; (b) Gambar *Binary*; (c) Validasi

3.2. Perilaku gelembung mikro



Gambar 4 Fenomena secondary flow

Selama proses pengambilan data, terdapat fenomena unik yakni munculnya secondary flow pada bagian outlet MBG yang ditampilkan pada Gambar 4. Secondary flow adalah aliran yang beralih arah dari aliran utama. Aliran ini akan berbelok dan mengarah menuju ke bagian divergen. Pada detik ke 0,230, air mengalir dengan arah aksial menuju ke bagian outlet. Selang 0,003 detik kemudian aliran air akan terpecah dan berbelok arah ke atas dan pada detik ke 0,236, aliran air akan berputar-putar di bagian outlet sebelum meninggalkan MBG. Proses resirkulasi gelembung di dalam MBG akan meningkatkan disipasi turbulensi, multiple-breakup, dan penurunan ukuran gelembung [14].

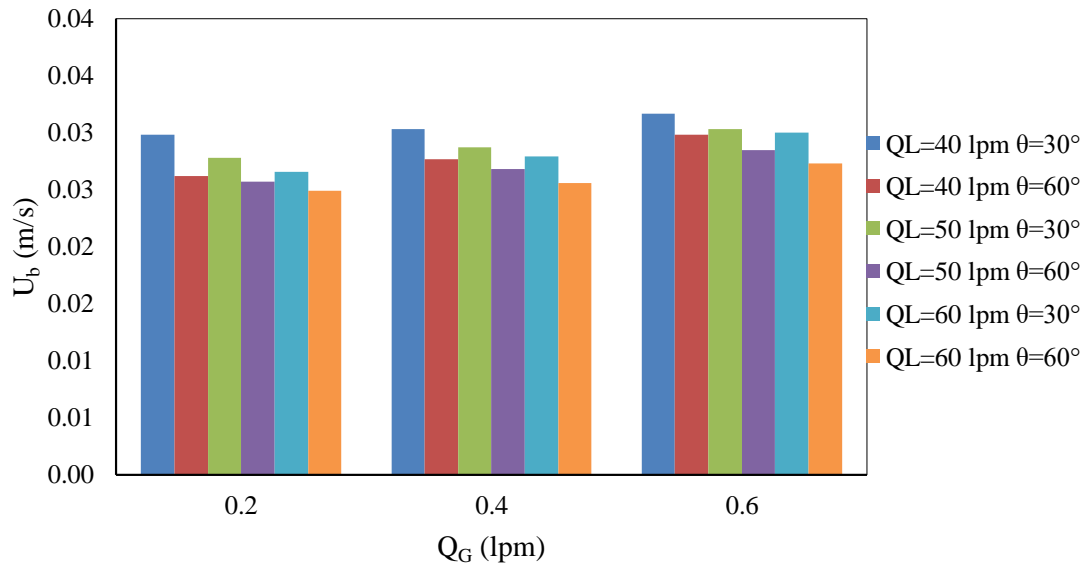


Gambar 5 Visualisasi persebaran gelembung mikro pada (a) sudut puntiran 30°; (b) sudut puntiran 60° dengan Q_L 60 lpm dan Q_G 0,2 lpm

Gambar 5 memperlihatkan gelembung mikro yang terbentuk pada debit aliran air 60 lpm pada sudut puntiran 30° dan 60° dengan debit udara yang diatur konstan 0,2 lpm. Gelembung yang telah terbentuk akan menyebar sesaat setelah melewati outlet MBG. Terlihat bahwa persebaran gelembung akan membentuk pola kerucut pada ujung MBG. Sudut puntiran 60° menghasilkan pola kerucut yang lebih pendek dibandingkan sudut puntiran 30°. Selain itu gelembung yang terbentuk pada sudut puntir 60° lebih kecil dan lebih seragam satu sama lain dibandingkan dengan gelembung pada sudut puntiran 30°.

Gelembung mikro memiliki sifat fisis yang unik dan berbeda dibanding dengan gelembung mili atau makro. Ukurannya yang kecil memungkinkan gelembung mikro bergerak lebih lambat naik ke permukaan air. Gelembung yang berukuran besar cenderung akan berputar dan naik ke permukaan air lebih cepat. Berdasarkan persamaan Hadamard- Rybczynski (2), kecepatan naik dari gelembung sebanding dengan besarnya kuadrat dari diameter gelembung. Pada Q_L 60 lpm dengan Q_G 0,2 lpm, dan sudut puntiran 60° akan menghasilkan kecepatan naik sebesar 0,0249 m/s. Ketika sudut puntir diubah dari 60° ke 30°, kecepatan naik gelembung meningkat menjadi 0,0266 m/s. Semakin besar sudut puntiran baffle, semakin lambat kecepatan naik dari gelembung. Gelembung yang bertahan lebih lama di dalam air akan meningkatkan laju massa transfer absorpsi dari fasa gas ke fasa likuid sehingga dapat membantu meningkatkan kelarutan oksigen didalam air.

$$U_b = \rho_L g d_b^2 / 18\mu \tag{3}$$



Gambar 6 Kecepatan naik gelembung

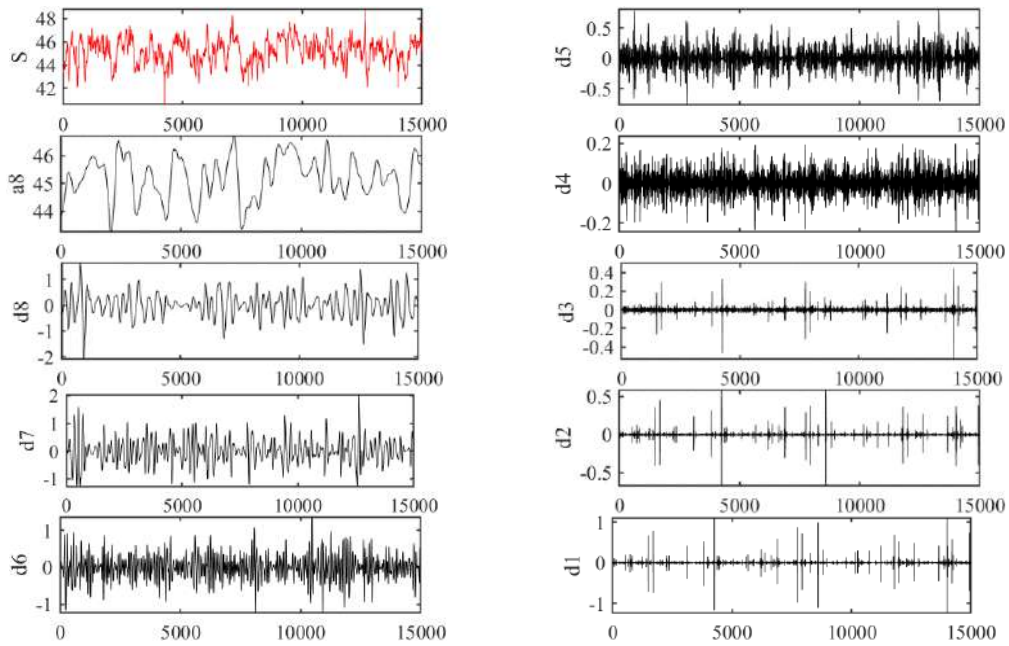
3.3. Analisis wavelet

Analisis *wavelet* merupakan salah satu metode pengolahan sinyal digital yang dapat dimanfaatkan untuk mengetahui karakteristik dari aliran dua fasa. *Wavelet* merupakan metode yang terbilang cukup baru yang dapat menganalisis data dengan domain frekuensi dan waktu [15]. Analisis *wavelet* berperan sebagai pengaturan skala dari data sinyal tekanan. Pada penelitian ini, sinyal tekanan yang dihasilkan dari aliran *bubbly* akan dideteksi *differential pressure transducer* kemudian diolah lebih lanjut menggunakan metode *post-processing signal* menggunakan perangkat lunak MATLAB R2023a. Teknik *discrete wavelet transform* (DWT) dengan model Daubachies 4 (db4) dipilih pada penelitian ini karena kelebihanannya dalam mendistorsi *noise* [16]. Sinyal tekanan kemudian akan didekomposisi menjadi 8 level. D1 menggambarkan skala terkecil dengan frekuensi tertinggi, sedangkan D8 mewakili skala terendah dengan frekuensi tertinggi. Di sisi lain A8 merepresentasikan pendekatan sinyal pada frekuensi rendah dan skala tinggi.

Tabel 2 –

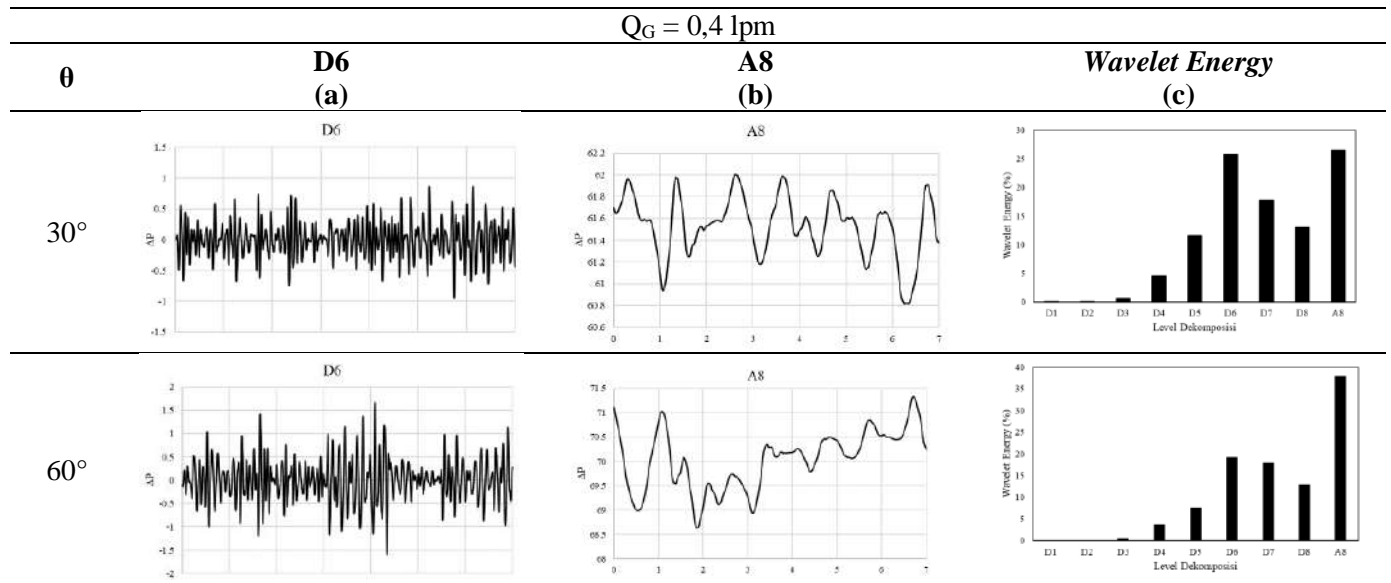
Tabel 3 menunjukkan komparasi hasil analisis *wavelet* dari variasi sudut puntiran *baffle*. Kolom (a) memperlihatkan level dekomposisi D6 yang menggambarkan sinyal pada frekuensi rendah dan skala besar. Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa energi *wavelet* maksimal mayoritas terjadi pada level dekomposisi D6 – A8. Dominasi energi *wavelet* pada suatu frekuensi menandakan bahwa di dalam aliran tersebut sedang terjadi fenomena dispersi dan *coalesce* (penggabungan) gelembung [15]. Pada Q_L 50 lpm, terlihat bahwa energi *wavelet* maksimal meningkat seiring dengan peningkatan sudut puntiran. Sudut puntiran dari 30° ke 60° dapat menghasilkan selisih energi *wavelet* sebesar 11%. Selanjutnya pada pengujian dengan Q_G konstan 0,4 lpm, pola energi *wavelet* memiliki kecenderungan yang sama dimana energi *wavelet* maksimal terjadi pada D6 – A8. Peningkatan sudut puntiran 30° ke 60° akan menghasilkan selisih energi *wavelet* sebesar 10%.

Tabel 1. Contoh sinyal dekomposisi



Tabel 2. Analisis wavelet pada $Q_L = 50$ lpm

$Q_L = 50$ lpm			
θ	D6 (a)	A8 (b)	Wavelet Energy (c)
30°			
60°			

Tabel 3. Analisis *wavelet* pada $Q_G = 0,4$ lpm

4. Kesimpulan

Studi eksperimental MBG venturi dengan tambahan *baffle* telah dilakukan secara komprehensif. Sudut puntiran *baffle* pada MBG venturi sukses memproduksi gelembung mikro. Perilaku gelembung dipengaruhi oleh ukuran gelembung. Peningkatan debit aliran air akan memperkecil gelembung yang terbentuk dan memperlambat kecepatan naik dari gelembung. Sedangkan, peningkatan debit udara akan menghasilkan gelembung berukuran besar dengan kecepatan naik yang lebih cepat. Variasi sudut puntiran *baffle* terbukti mempengaruhi perilaku gelembung. Peningkatan sudut puntiran *baffle* akan meningkatkan *pressure drop* dan mempengaruhi nilai energi *wavelet* maksimal.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan Tim MBG Laboratorium Mekanika Fluida Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

Nomenclature

d_b diameter gelembung
 d_{32} diameter *sauter mean*
 g gravitasi (m/s^2)
 P tekanan (Pa)
 t waktu (s)
 U_b kecepatan naik gelembung

Huruf Yunani

μ viskositas fluida (Pa.s)
 ρ massa jenis fluida (kg/m^3)

Subskript

L	likuid
G	gas
1	inlet
2	outlet

References

- [1] V. Tesař, "Microbubbles: Properties, Mechanisms of Their Generation," in *Particles in Flows*, 1 ed., T. Bodnár, G. P. Galdi, dan Š. Necasová, Ed. Switzerland: Springer International Publishing, 2017, hal. 453–519.
- [2] I. Levitsky, D. Tavor, dan V. Gitis, "Micro and nanobubbles in water and wastewater treatment: A state-of-the-art review," *J. Water Process Eng.*, vol. 47, no. 102688, 2022, doi: 10.1016/j.jwpe.2022.102688.
- [3] Deendarlianto, Wiratni, A. E. Tontowi, Indarto, dan A. G. W. Iriawan, "The implementation of a developed microbubble generator on the aerobic wastewater treatment," *Int. J. Technol.*, vol. 6, no. 6, hal. 924–930, 2015, doi: 10.14716/ijtech.v6i6.1696.
- [4] L. P. Afisna, W. E. Juwana, Indarto, Deendarlianto, dan F. M. Nugroho, "Performance of Porous-Venturi Microbubble Generator for Aeration Process," *J. Energy, Mech. Mater. Manuf. Eng.*, vol. 2, no. 2, hal. 73–80, 2017, doi: 10.22219/jemmm.v2i2.5054.
- [5] W. Budhijanto, D. Darlianto, Y. S. Pradana, dan M. Hartono, "Application of micro bubble generator as low cost and high efficient aerator for sustainable fresh water fish farming," in *International Seminar on Fundamental and Application of Chemical Engineering 2016*, 2016, vol. 1840, doi: 10.1063/1.4982338.
- [6] Y. Liu dkk., "Micro-nano bubble water oxygation: Synergistically improving irrigation water use efficiency, crop yield and quality," *J. Clean. Prod.*, vol. 222, hal. 835–843, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.02.208.
- [7] J. Huang dkk., "A review on bubble generation and transportation in Venturi-type bubble generators," *Exp. Comput. Multiph. Flow*, vol. 2, no. 3, hal. 123–134, 2020, doi: 10.1007/s42757-019-0049-3.
- [8] D. H. Shin, Y. Gim, D. K. Sohn, dan H. S. Ko, "Development of venturi-tube with spiral-shaped fin for water treatment," *J. Fluids Eng. Trans. ASME*, vol. 141, no. 5, hal. 1–9, 2019, doi: 10.1115/1.4042750.
- [9] W. E. Juwana, A. Widyatama, O. Dinaryanto, W. Budhijanto, Indarto, dan Deendarlianto, "Hydrodynamic characteristics of the microbubble dissolution in liquid using orifice type microbubble generator," *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 141, hal. 436–448, 2019, doi: 10.1016/j.cherd.2018.11.017.
- [10] K. Tabei, S. Haruyama, S. Ya, aguchi, H. Shirai, dan F. Takakusagi, "Study of Micro Bubble Generation by a Swirl Jet (Measurement of Bubble Distribution by Light Transmission and Characteristics of Generation Bubbles)," *J. Environ. Eng.*, vol. 2, no. 1, hal. 172–182, 2007, doi: 10.1299/jee.2.172.
- [11] D. I. Mawarni, W. E. Juwana, K. A. Yuana, W. Budhijanto, Deendarlianto, dan Indarto, "Hydrodynamic characteristics of the microbubble dissolution in liquid using the swirl flow type of microbubble generator," *J. Water Process Eng.*, vol. 48, no. 2, hal. 102846, 2022, doi: 10.1016/j.jwpe.2022.102846.
- [12] X. Wang dkk., "Bubble Formation in a Swirl-Venturi Microbubble Generator," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 61, hal. 16291–16302, 2022, doi: 10.1021/acs.iecr.2c01953.
- [13] Y. Wu, H. Chen, dan X. Song, "Microbubble Dispersion Process Intensification Using Novel Internal Baffles," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 61, no. 38, hal. 14284–14297, 2022, doi: 10.1021/acs.iecr.2c01984.
- [14] J. Huang dkk., "An investigation on the performance of a micro-scale Venturi bubble generator," *Chem. Eng. J.*, vol. 386, hal. 120980, 2020, doi: 10.1016/j.cej.2019.02.068.
- [15] A. K. Jana, G. Das, dan P. K. Das, "A novel technique to identify flow patterns during liquid - Liquid two-phase upflow through a vertical pipe," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 45, no. 7, hal. 2381–2393, 2006, doi: 10.1021/ie051257e.
- [16] I. Catrawedarma, Deendarlianto, dan Indarto, "Statistical Characterization of Flow Structure of Air–water Two-phase Flow in Airlift Pump–Bubble Generator System," *Int. J. Multiph. Flow*, vol. 138, no. 103596, 2021, doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2021.103596.