

Kaji Eksperimental Pengaruh Debit Air Dan Udara Terhadap Distribusi Gelembung Yang Dihasilkan Alat Penghasil Gelembung

Baktiar Julianto, Drajat Indah Mawarni

Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe

E-mail: back.teart@gmail.com

Abstrak – Lampiran ini menyajikan data pendukung penelitian dengan judul “Kajian Eksperimental Pengaruh Debit Air dan Udara terhadap Distribusi Gelembung yang Dihasilkan Alat Penghasil Gelembung”. Seluruh data diperoleh melalui perekaman video formasi microbubble pada berbagai kombinasi debit air dan udara. Metode ini dipilih untuk memungkinkan pengamatan visual yang akurat terhadap perilaku gelembung di dalam media fluida, sehingga setiap perubahan ukuran dan pola distribusi dapat didokumentasikan secara detail.

Proses analisis data dilakukan dengan teknik image processing yang mencakup tahapan konversi citra menjadi format analisis, segmentasi area gelembung, dan pengukuran diameter secara piksel yang kemudian dikonversi ke satuan panjang aktual. Pengolahan citra dilakukan untuk setiap frame representatif dari video hasil eksperimen, sehingga diperoleh distribusi diameter gelembung yang mewakili kondisi pada variasi debit tertentu. Selanjutnya, data tersebut disusun dalam bentuk tabel, grafik dan dokumentasi visual untuk memudahkan proses interpretasi.

Hasil yang tercantum dalam lampiran ini menjadi dasar dalam melakukan analisis hubungan antara debit air dan udara terhadap distribusi ukuran gelembung yang dihasilkan. Penyajian data dilakukan secara sistematis untuk memastikan replikasi penelitian dapat dilakukan pada kondisi serupa. Dengan demikian, lampiran ini tidak hanya berfungsi sebagai arsip data, tetapi juga sebagai acuan teknis dalam studi lanjutan terkait teknologi pembangkitan microbubble.

Kata Kunci — Image Processing Microbubble

Abstract – This appendix presents supporting data for the study entitled “Experimental Study on the Effect of Water and Air Flow Rates on the Bubble Distribution Generated by a Bubble Generator”. The data were obtained through video recording of microbubble formation under various combinations of water and air flow rates. This recording method was chosen to enable accurate visual observation of bubble behavior within the fluid medium, ensuring that every change in size and distribution pattern could be documented in detail.

Data analysis was carried out using image processing techniques, including image conversion into an analyzable format, segmentation of the bubble area, and diameter measurement in pixel units, which were then converted into actual length units. This process was applied to representative frames from each experimental video, resulting in bubble diameter distributions that represent conditions at each flow rate variation. The processed data were subsequently organized into tables, graphs, and visual documentation to facilitate interpretation.

The results contained in this appendix serve as the basis for analyzing the relationship between variations in water and air flow rates and the resulting bubble size distribution. The data are presented systematically to ensure that the study can be replicated under similar conditions. Therefore, this appendix functions not only as a data archive but also as a technical reference supporting further research and development in microbubble generation technologythe ship.

Keywords — Image Processing Microbubble

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Microbubble didefinisikan oleh peneliti terdahulu dengan rentang ukuran yang berbeda-beda. Tabei dkk (2007) mendefinisikan *microbubble* sebagai suatu kumpulan *bubble* dengan ukuran yang sangat kecil dimana *bubble* tersebut berada dalam skala mikro. Sadatomi dkk (2012), mendefinisikan *microbubble* adalah *bubble* yang berukuran sangat kecil dengan diameter kurang dari 100 μm . Temesgen dkk (2017) mendefinisikan *microbubble* sebagai sekumpulan *bubble* dengan rentang ukuran 10 – 50 μm .

Temesgen dkk (2017) mengemukakan bahwa dalam dua dekade terakhir banyak peneliti yang fokus untuk menciptakan alat penggenerasi *microbubble* yang disebut dengan *microbubble generator*. Penelitian terkait *microbubble generator* dikembangkan secara umum dengan berbagai metode penggenerasi yang mampu menghasilkan unjuk kerja yang lebih baik, yaitu mampu menggenerasi *microbubble* dengan ukuran kecil. Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk menggenerasi gelembung adalah dengan memanfaatkan aliran *swirl*.

Pada *microbubble generator* tipe *swirl*, aliran berputar terbentuk akibat air yang dialirkan secara tangensial ke dalam *chamber microbubble generator*. Pada perancangannya, *microbubble generator* ini memiliki komponen berupa nosel gas, dimana posisi ujung nosel gas sebaiknya di letakkan pada titik yang mengalami tekanan terendah di dalam *chamber microbubble generator* agar nosel gas mampu mengisap udara luar. Uji eksperimental yang akan dilakukan adalah dengan memvariasikan debit aliran fluida untuk menghasilkan gelembung dengan ukuran mikron.

1.2. Rumusan Masalah

Mengacu pada latar belakang tersebut, rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana distribusi gelembung yang dihasilkan *microbubble generator* tipe *Swirl* jika divariasi debit air dan debit udaranya.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini secara garis besar adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui distribusi gelembung yang dihasilkan *Microbubble Generator* tipe *Swirl* ketika debit air divariasikan.
2. Mengetahui gelembung yang dihasilkan *Microbubble Generator* tipe *Swirl* ketika debit udara divariasikan.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberi pengetahuan mengenai pengaruh debit fluida terhadap ukuran gelembung yang dihasilkan *microbubble generator* tipe *swirl*.

1.5. Batasan Masalah

Kaji eksperimen *microbubble generator* tipe *swirl* dibatasi oleh beberapa batasan masalah berikut ini.

1. Sistem diasumsikan tidak dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan tidak terjadi perpindahan kalor.
2. Teknologi pembangkit gelembung yang digunakan adalah *microbubble generator* tipe *Swirl*
3. *Microbubble generator* dioperasikan dalam keadaan *steady state*
4. Diameter saluran gelembung 50 milimeter
5. Diameter saluran udara 0.5 milimeter
6. Debit air yang digunakan untuk pengujian pertama 30, 35, 40 dan 45 lpm dengan debit udara konstan yaitu 0,4 lpm.
7. Debit udara yang digunakan untuk pengujian pertama 0,2; 0,4; 0,6 dan 0,8 lpm dengan debit air konstan yaitu 40 lpm.
8. Jarak pengambilan data 90 cm dari outlet *Microbubble Generator*
9. Distribusi gelembung yang diukur disajikan dalam bentuk *Probability Density Function* (PDF).

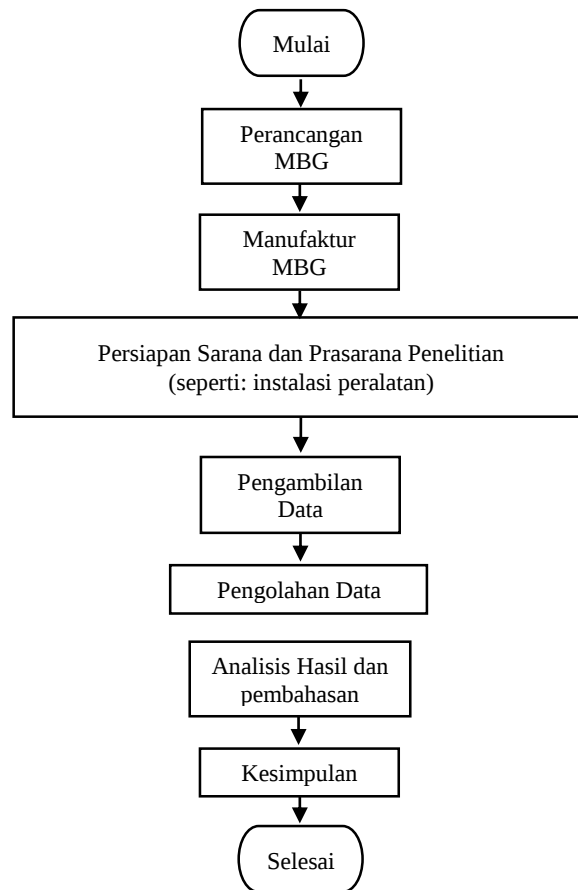
2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini menggambarkan tahapan yang dilakukan secara sistematis mulai dari persiapan alat dan bahan hingga analisis data. Tahapan diawali dengan studi literatur untuk memperoleh dasar teori terkait pembangkitan *microbubble*, pengaruh debit air dan udara, serta metode *image processing*. Selanjutnya dilakukan perancangan dan persiapan alat penghasil gelembung sesuai parameter yang akan diuji.

Proses pengambilan data dilakukan dengan merekam pembentukan *microbubble* menggunakan kamera pada berbagai variasi debit air dan udara. Video yang diperoleh kemudian diolah menggunakan teknik *image processing* untuk mengukur diameter gelembung dan memperoleh distribusinya. Data hasil pengolahan selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan dokumentasi visual.

Tahap akhir meliputi analisis hubungan antara variasi debit air dan udara terhadap distribusi ukuran gelembung, penarikan kesimpulan, serta penyusunan laporan penelitian. Diagram alir yang ditampilkan pada subbab ini berfungsi untuk memudahkan pemahaman alur penelitian secara menyeluruh dan memastikan setiap langkah dapat direplikasi pada penelitian selanjutnya. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 2. 1 Diagram Alir Penelitian

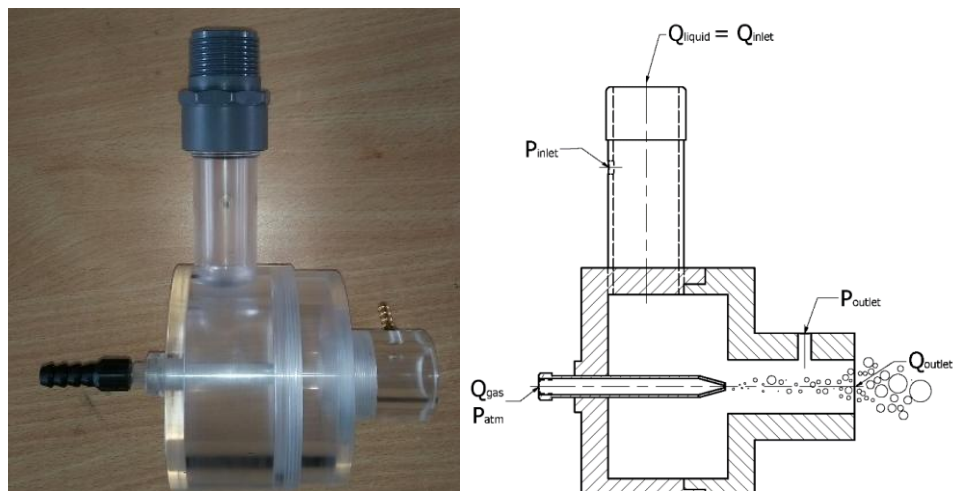
2.2 Disain Penelitian

2.2.1. Alat Penelitian

1. Microbubble Generator Tipe Swirl

Microbubble generator tipe *swirl* merupakan alat utama yang dilakukan uji karakteristik berupa distribusi *microbubble*. Alat ini menciptakan aliran *swirl* dengan cara mengalirkan air bertekanan ke dalam *chamber microbubble generator* secara tangensial. Mekanisme *microbubble generator* dalam mengisap udara yaitu dengan cara memposisikan ujung nosel gas pada lokasi yang mengalami tekanan negatif di dalam *chamber microbubble*. Tekanan negatif tercipta karena adanya kecepatan tinggi pada pusaran aliran *swirl*. Udara yang terisap akan bercampur dengan aliran air yang berputar, lalu tercacah hingga berukuran mikron karena mengalami turbulensi.

Microbubble generator ini menggunakan ujung nosel dengan diameter 0.5 mm. Jarak ujung nosel gas dengan outlet *microbubble generator* adalah 1 mm. Gambar 3.2 merupakan *microbubble generator* yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 2. 2 Microbubble Generator Tipe Swirl

2. Akuarium Uji

Akuarium uji digunakan sebagai media penampung air pengganti kolam untuk mengamati *microbubble* yang dihasilkan oleh generator. Saat penelitian, akuarium uji diisi air hingga ketinggian 30 cm. Aquarium uji memiliki dimensi panjang 2,8 m, lebar 0,6 m, tinggi 0,4 m, dan ketebalan kaca 13 mm. Gambar 3.3 menunjukkan akuarium yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 2. 3 Akuarium uji

3. Pompa

Pompa digunakan untuk mengalirkan air bertekanan ke dalam *microbubble generator*. Pompa yang digunakan dengan memiliki spesifikasi sebagai berikut.

- Merek : Yamamax Pro
- Model : DB 401
- Debit maksimum : 267 Liter / Menit
- Power : 1.5 HP
- Daya maksimum : 1100 Watt



Gambar 2. 4 Pompa Sentrifugal

4. LED

LED digunakan sebagai pengatur cahaya pada saat proses perekaman *bubble* oleh kamera agar visual yang ditangkap lebih jelas dan terang. LED yang digunakan dalam pencahayaan pada saat pengambilan gambar *microbubble* memiliki spesifikasi sebagai berikut.

- Merek : Nikita Star
- Tegangan : 220 Volt
- Frekuensi : 50 Hz
- Daya : 10 Watt

5. Water Flowmeter

Flowmeter digunakan sebagai alat pengukur debit cairan yang mengalir ke dalam *microbubble generator*. Jenis *flowmeter* yang digunakan pada penelitian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut.

- Jenis : LZS-32
- Jangkauan pengukuran : 10 lpm – 100 lpm (0.6 m³/h – 6 m³/h)
- Type : Long Tube Short Tube
- Diameter fitting ulir : 1 inch
- Material silinder : Glass
- Material fitting ulir : PVC
- Material float : Plastic shell



Gambar 2. 5 Flowmeter Air

6. *Gas Flowmeter*

Pada penelitian ini menggunakan *gas flowmeter* dalam mengukur dan mengatur debit udara yang dapat diisap masuk oleh *microbubble generator*. *Gas flowmeter* ini memiliki spesifikasi sebagai berikut.

- Merek : Sharainn
- Rentang pengukuran : 0.1 – 1.5 lpm
- Material : Acrylic + Plastic + Metal
- Tinggi : 13 cm
- *Connection Type* : Hose



Gambar 2. 6 Flowmeter Udara

7. *Inverter*

Inverter digunakan untuk mengontrol frekuensi listrik yang dialirkan ke pompa sehingga kecepatan putar motor pompa dapat disesuaikan. Kecepatan putar motor pompa mempengaruhi daya isap pompa. Semakin tinggi daya isap pompa, maka semakin tinggi debit cairan yang dialirkan. Spesifikasi inverter ini adalah sebagai berikut.

- Merek : NFLIXIN
- *Mfr. Part No* : 9600
- Power Rating : 1 Ph
- *Phase* : 1 Phase
- *Supply Voltage* : 220 Volt
- Frekuensi rated : 50 hz / 60 hz



Gambar 2. 7 Inverter

8. *Kamera*

Data gambar ditangkap menggunakan kamera telepon genggam dengan spesifikasi sebagai berikut.

- Model : Xiaomi 14T Pro
- Resolusi : 1080P
- Frame Rate : Mode Slow motion 960 fps



Gambar 2. 8 HP Xiaomi 14T Pro

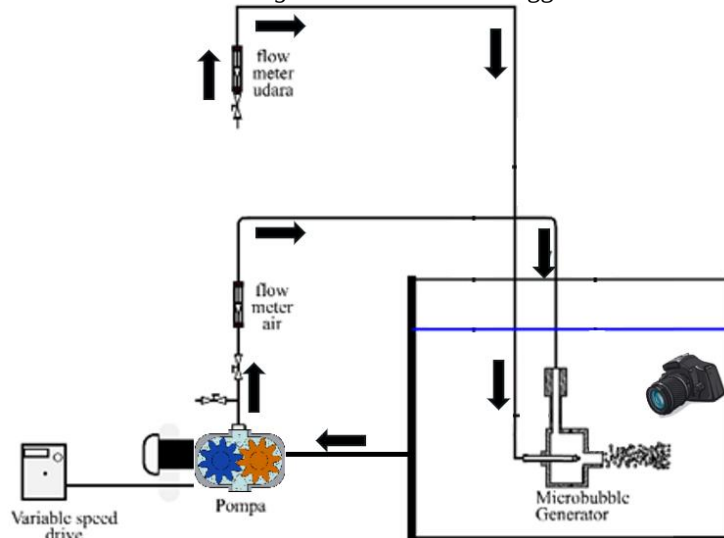
9. *Laptop*

Pada proses pengambilan data, laptop difungsikan untuk mengolah data yang telah diambil dengan melakukan image processing menggunakan software MATLAB R2016a. Laptop yang digunakan adalah ASUS dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Merk : ASUS
- Model : M409D
- Hero IProcessor : AMD Ryzen 3

10. *Instalasi Alat Penelitian*

Fluida cair yang digunakan merupakan air bersih, serta fluida gas yang digunakan merupakan udara dengan tekanan 1 atmosfer. Fluida cair disirkulasikan oleh pompa secara tertutup melalui pipa dengan debit cairan yang disesuaikan menggunakan inverter. Udara diisap dengan memanfaatkan aliran *swirl* yang menghasilkan tekanan negatif di dalam *microbubble generator*. Debit aliran udara yang masuk diatur menggunakan *gas flowmeter*. Debit cairan diukur menggunakan *rotameter flowmeter*. *Microbubble* yang dihasilkan oleh *microbubble generator* direkam menggunakan kamera highspeed 960 fps.



Gambar 2. 9 Skema Instalasi Peralatan Penelitian

2.2.2. **Bahan Penelitian**

1. *Properti Material Fluida*

Fluida cair berupa air, dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Massa jenis air (ρ_{air}) : 996 kg/m³
- Viskositas dinamis air (μ_{air}) : 0,001 Kg/m.s
- Viskositas kinematis air (ν_{air}) : 1 x 10⁻⁶ m²/s

Fluida gas berupa udara dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Massa jenis udara (ρ_{udara}) : 1,163 kg/m³

- Viskositas dinamis udara (μ_{udara}) : $1,86 \times 10^{-5} \text{ Kg/m.s}$
- Viskositas kinematis udara (ν_{udara}) : $15,7 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

2. Saluran Fluida dan Komponen Pendukung

Fluida yang digunakan pada penelitian ini dialirkan secara tertutup melalui pipa untuk cairan dan selang untuk udara, serta komponen pendukung lain seperti katup dan sambungan. Pipa PVC digunakan sebagai saluran air karena sifat material yang tahan korosi, ringan, murah, dan mudah dalam penyesuaian jika dibandingkan dengan material logam. Instalasi perpipaan pada penelitian ini menggunakan ukuran pipa 1 inci, 5/4 inci dan 3/2 inci. Pada setiap segmen perpipaan dengan sudut 90° instalasi penelitian menggunakan sambungan *elbow* dengan material PVC. *Ball Valve* merupakan katup yang digunakan untuk membuka dan menutup aliran air bertekanan yang berasal dari pompa. Aliran fluida cair secara tertutup akan menghasilkan banyak rugi-rugi aliran. Tabel 3.1 merupakan hasil perhitungan rugi-rugi aliran yang dihitung pada debit cairan 50 lpm.

2.2.3. Prosedur Penelitian

Data yang diambil pada penelitian ini adalah unjuk kerja *microbubble generator* berupa distribusi *microbubble*. Berikut merupakan langkah yang dilakukan dalam pengambilan data distribusi *microbubble*:

1. Nyalakan pompa untuk mengalirkan cairan dari dalam aquarium sampai keluar melalui *microbubble generator*
2. Atur debit air menggunakan *variable speed drive* yang sudah terpasang pada pompa air Dimana debit air dapat dilihat pada rotameter air yang terpasang
3. Karena perbedaan tekanan didalam *Microbubble Generator* dengan tekanan udara atmosfir menyebabkan udara akan terhisap kedalam *Microbubble Generator* dengan sendirinya dengan sebelumnya melewati rotameter udara.
4. Lakukan pengaturan debit udara yang diinginkan dengan menggunakan otameter yang sudah terpasang.
5. Rekam gambar pada tiap variasi debit air dan variasi debit udara.
6. Melakukan ekstraksi dari video yang diambil menjadi frame dengan software MATLAB
7. Lakukan peningkatan kualitas gambar dengan mengkonversikan gambar ke mode *Grayscale* dan melakukan *Noise Reduction* serta pengaturan kontras untuk memperjelas tepi pada gelembung
8. Lakukan pemisahan antara gelembung dengan latar belakang menggunakan metode *Thresholding*
9. Lakukan teknik *watershed* untuk memperjelas batas antar gelembung
10. Lakukan pengukuran diameter *bubble* dengan melakukan konversi piksel menjadi milimeter lalu lakukan penghitungan ekuivalen tiap gelembung
11. Lakukan penyimpanan data dalam format CSV
12. Lakukan pembuatan grafik histogram dari hasil pengukuran diameter gelembung

Variasi pada pengukuran ini diperlukan untuk mengamati kondisi optimum yang dapat dicapai pada sebuah uji coba. Dalam penelitian ini, variabel yang divariasikan adalah debit cairan dan debit udara. Pengujian pertama adalah pengujian pada saat debit udara (QG) dijaga konstan pada debit terendah, yaitu 0,4 lpm dengan variasi debit aliran air (QL) pada 30, 35, 40, 45 lpm. Sedangkan pengujian kedua adalah pengujian debit aliran air (QL) dijaga konstan pada debit tertinggi, yaitu 40 lpm dengan variasi debit udara (QG) pada 0,2; 0,4; 0,6 dan 0,8 lpm. Kondisi optimum yang diharapkan yaitu diperoleh ukuran *bubble* dengan orde mikron. Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 merupakan kolom variasi yang digunakan dalam uji coba ini.

Tabel 2.2 Kolom Variasi Debit Air

$\varnothing$ Microbubble (μm)		QG (lpm)
		0,4
QL (lpm)	30	
	35	
	40	
	45	

Tabel 2. 1 Kolom Variasi Debit Udara

$\varnothing$ Microbubble (μm)		QL (lpm)
		40
QG (lpm)	0,2	
	0,4	
	0,6	
	0,8	

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

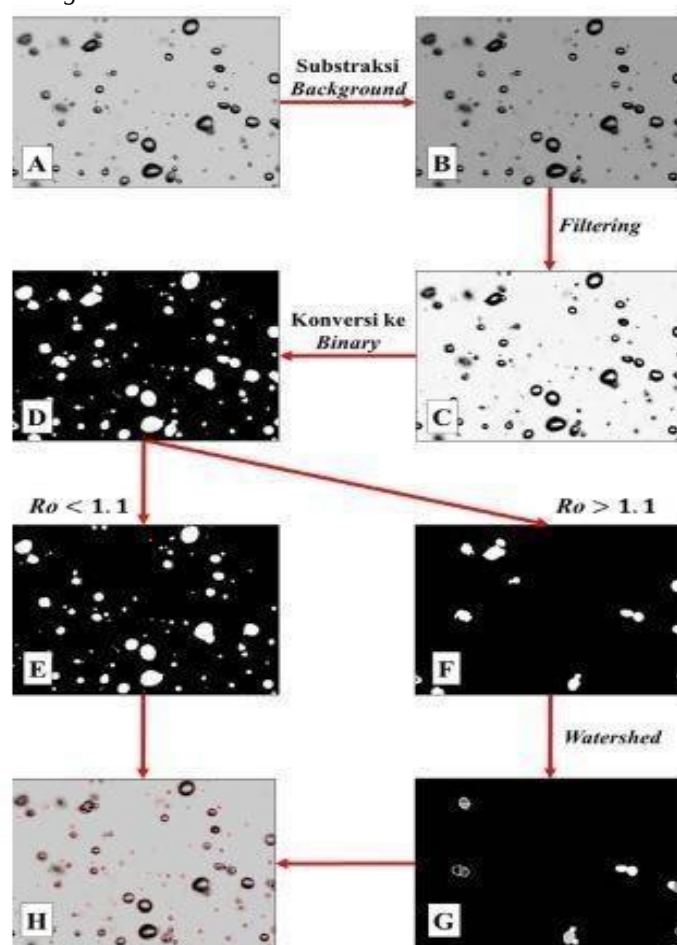
3.1. Diameter Microbubble

3.1.1. Distribusi Dimensi Bubble

Untuk mengetahui bagaimana kualitas dari hasil generasi *bubble* pada *microbubble generator*, perlu dilakukan pengamatan secara visual melalui rekaman citra gambar yang ditangkap oleh kamera dengan tingkat fps tinggi yaitu diatas 900 fps. Parameter penting yang digunakan sebagai acuan adalah berapa diameter *bubble* yang dihasilkan dan bagaimana distribusinya pada *outlet microbubble generator*. *Bubble* dikatakan baik jika diameter *bubble* yang dihasilkan semakin kecil. *Bubble* dengan diameter yang lebih kecil memiliki potensi untuk dapat meningkatkan luas permukaan kontakannya didalam air sehingga *bubble* memiliki *rising speed* yang rendah dan dapat membawa kandungan oksigen terlarut lebih lama dalam jarak tertentu serta cenderung lebih stabil.

Pengambilan citra gambar dilakukan dengan menggunakan kamera HP Xiaomi 14T Pro dalam bentuk video berformat mp4 dengan kualitas perekaman 1080 piksel pada 960 fps (mode *Slow Motion*). Beberapa pengaturan pada kamera meliputi *aperture* yang diatur pada 1.6 dan focal length pada 23 mm. Dengan pengaturan tersebut, kamera diposisikan pada jarak 40 cm dari objek sehingga akan diperoleh jarak fokus yang lebih optimal. Objek dalam hal ini adalah outlet *microbubble generator*. Untuk image processing, dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB R2016a dengan mengekstrak video hasil perekaman terlebih dahulu menjadi 1115 gambar berformat TIF untuk kemudian diolah kembali dengan output file MS Excel yang berisi diameter total dari *bubble* yang dihasilkan. Terdapat dua jenis pengujian dalam penelitian ini. Pengujian pertama adalah pengujian pada saat pada saat debit udara (QG) dijaga konstan pada debit terendah, yaitu 0,4 lpm dengan variasi debit aliran air (QL) pada 30, 35, 40, 45 lpm. Sedangkan pengujian kedua adalah pengujian debit aliran air (QL) dijaga konstan pada debit tertinggi, yaitu 40 lpm dengan variasi debit udara (QG) pada 0,2; 0,4; 0,6 dan 0,8 lpm.

Distribusi diameter *microbubble* didapatkan dengan cara *digital image processing* dengan menggunakan *software* MATLAB. Proses tersebut menghasilkan data grafik mengenai klasifikasi ukuran *microbubble* terhadap *probability density function* (PDF). *Probability density function* (PDF) menunjukkan probabilitas terbentuknya *bubble* pada rentang diameter tertentu. Gambar 3.1. menunjukkan langkah-langkah yang perlu diambil untuk melakukan *digital image processing*.



Gambar 3. 1 Langkah-langkah melakukan *digital image processing*.

Pengambilan video menggunakan kamera HP Xiaomi 14T Pro mendapatkan *file* video yang akan diubah formatnya menjadi *.avi* agar mudah untuk diekstrak seperti pada Gambar 3.1. (A). Selanjutnya adalah melakukan proses substraksi *background* yang fungsinya untuk menghilangkan *noise* yang berlebihan seperti yang tertera pada Gambar 3.1. (B). Gambar hasil substraksi *background* selanjutnya akan melewati proses *filtering* untuk menghasilkan gambar dengan informasi yang lebih akurat. Setelah melewati proses *filtering*, gambar tersebut akan dikonversi menjadi *binary image* seperti pada Gambar 3.1. (D). Langkah berikutnya merupakan proses pemisahan antara *solitary bubble* dengan *overlapping bubble*. *Solitary bubble* merupakan gelembung udara yang memiliki *roundness factor* $< 1,1$, sedangkan *overlapping bubble* merupakan gelembung udara yang memiliki *roundness factor* $> 1,1$, proses tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.1. (E) dan Gambar 3.1. (F). Gelembung udara yang memiliki *roundness factor* $> 1,1$ akan dipisahkan agar dapat mendeteksi batasan dari *single bubble* menggunakan metode *watershed*. *Overlapping bubble* yang telah dipisahkan akan digabungkan kembali dengan *solitary bubble* karena akan dilakukan pengukuran nilai objek untuk mendapatkan data luasan area *bubble*, diameter *bubble*, dan *centroid bubble*. Data tersebut akan digunakan untuk mendapatkan grafik *probability density function* terhadap klasifikasi rentang diameter *bubble*.

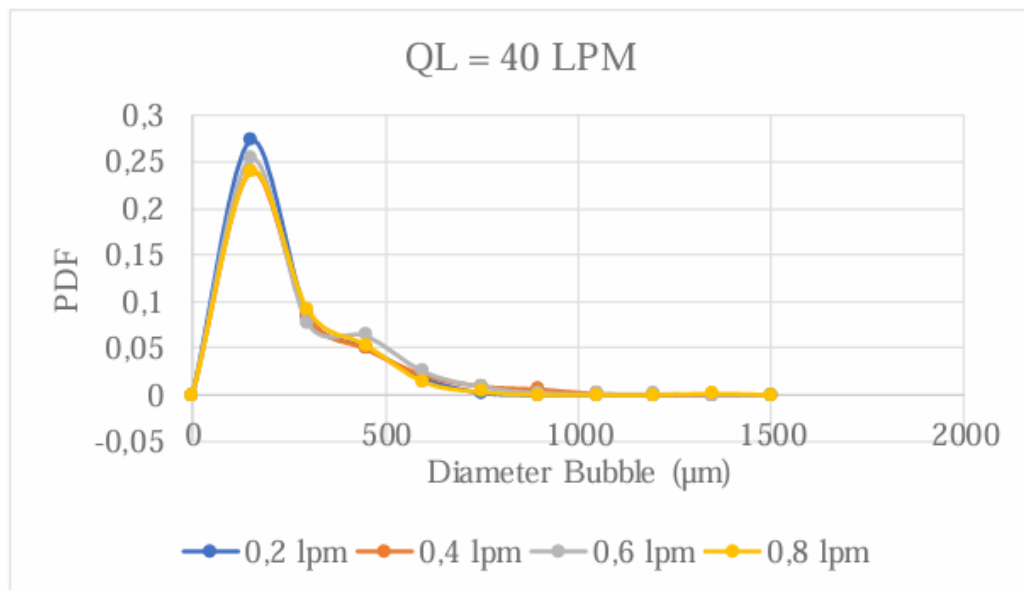
3.1.2. Pengaruh Debit Udara terhadap Distribusi Diameter *Microbubble*

Setelah dilakukan *digital image processing* untuk debit air konstan 40 lpm pada variasi debit udara 0,2 lpm, 0,4 lpm, 0,6 lpm, dan 0,8 lpm, didapatkan tabel *probability density function* terhadap rentang ukuran diameter *bubble*. Tabel 3.1 menunjukkan hasil dari *image processing* perbandingan antara diameter *microbubble* dan PDF pada QL konstan 40 lpm.

Tabel 3. 1. Hasil dari *image processing* perbandingan antara diameter *microbubble* dan PDF pada QL konstan 40 lpm

TABEL DATA PDF PADA QL = 40 LPM				
Ø Microbubble (µm)	0,2 lpm	0,4 lpm	0,6 lpm	0,8 lpm
0	0	0	0	0
150	0,272425249	0,238716148	0,252840909	0,239329268
300	0,084163898	0,083249749	0,075757576	0,089939024
450	0,050941307	0,049147442	0,06344697	0,053353659
600	0,017718715	0,02106319	0,024621212	0,013719512
750	0,002214839	0,009027081	0,008522727	0,00304878
900	0	0,006018054	0,001893939	0
1050	0	0,001003009	0,00094697	0
1200	0	0	0,00094697	0
1350	0	0	0	0,00152439
1500	0	0	0	0

Dari tabel diatas maka dapat kita tarik grafik histogram menggunakan fungsi excel. Gambar 3.2 menunjukkan distribusi diameter *bubble* pada variasi debit air 40 lpm dan debit udara 0,2 lpm, 0,4 lpm, 0,6 lpm dan 0,8 lpm



Gambar 3. 2 Grafik pengaruh debit udara terhadap distribusi diameter *bubble* pada QL = 40 lpm

Berdasarkan data yang telah didapat dari *digital image processing* terhadap variasi debit udara dan debit air beraliran *swirl* untuk mengetahui efek aliran tersebut, Gambar 3.2. menunjukkan bahwa debit udara 0,2 lpm memiliki nilai PDF tertinggi pada diameter *bubble* 150 µm, yaitu 0,27243. Sedangkan nilai PDF terendah ditunjukkan oleh debit udara 0,8 lpm, yaitu 0,23933. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil debit udara maka akan dihasilkan *microbubble* dengan ukuran terkecil terbanyak dibandingkan dengan debit udara yang lebih tinggi. Pada debit air yang konstan, meningkatnya debit udara akan menyebabkan penyebaran diameter *microbubble* akan lebih merata. Mengacu pada gambar grafik diatas dapat kita ketahui bahwa nilai distribusi diameter *bubble* yang diakibatkan oleh efek aliran *swirl* memiliki persentase diameter *bubble* terbesar pada rentang 150 – 200 µm.

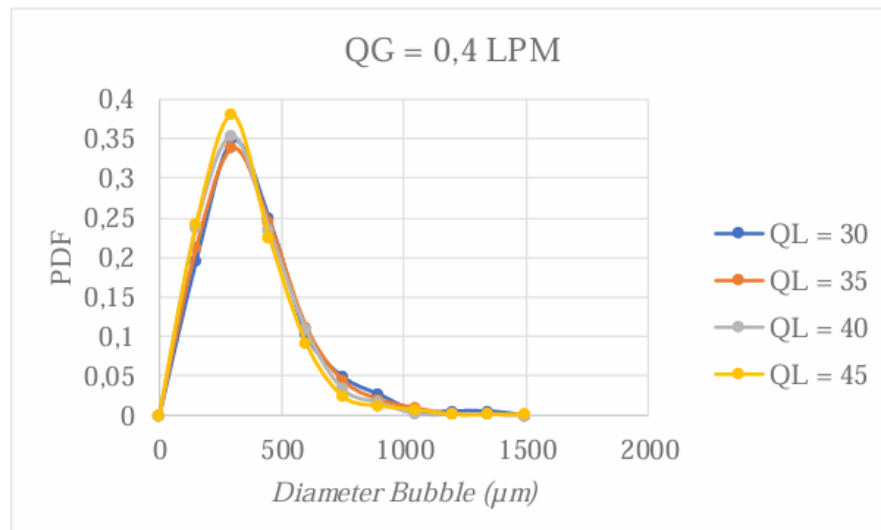
3.1.2. Pengaruh Debit Air terhadap Distribusi Diameter *Microbubble*

Setelah dilakukan *digital image processing* untuk debit udara konstan 0,4 lpm pada variasi debit air 20 lpm, 40 lpm, 60 lpm dan 80 lpm didapatkan tabel *probability density function* terhadap rentang ukuran diameter *bubble*. Tabel 3.2 menunjukkan hasil dari *image processing* perbandingan antara diameter *microbubble* dan PDF pada QG konstan 0,4 lpm.

Tabel 3. 2 Hasil dari *image processing* perbandingan antara diameter *microbubble* dan PDF pada QG konstan 0,4 lpm

TABEL DATA PDF PADA QG = 0.4 LPM				
Ø Microbubble (µm)	QL = 30	QL = 35	QL = 40	QL = 45
0	0	0	0	0
150	0,194405594	0,211943794	0,238716148	0,241920591
300	0,348251748	0,338407494	0,354062187	0,380424746
450	0,248951049	0,244730679	0,235707121	0,225300092
600	0,103496503	0,112412178	0,108324975	0,091412742
750	0,048951049	0,044496487	0,033099298	0,024007387
900	0,026573427	0,019906323	0,016048144	0,012003693
1050	0,005594406	0,009367681	0,002006018	0,007386888
1200	0,005594406	0,00117096	0,001003009	0,000923361
1350	0,005594406	0,00117096	0,001003009	0,000923361
1500	0	0	0	0,000923361

Dari tabel diatas maka dapat kita tarik grafik histogram menggunakan fungsi excel. Gambar 3.3. menunjukkan distribusi diameter *bubble* pada variasi debit air 30 lpm, 35 lpm, 40 lpm, dan 45 lpm dengan debit udara 0,4 lpm.



Gambar 3. 3 Grafik pengaruh debit air terhadap distribusi diameter *bubble* pada $QG = 0,4$ lpm.

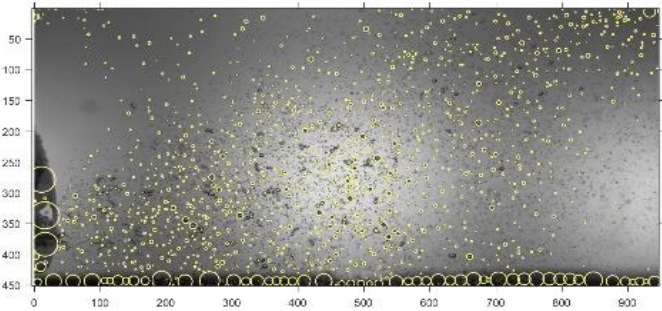
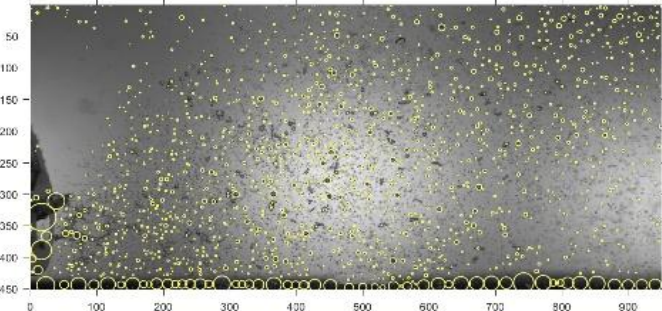
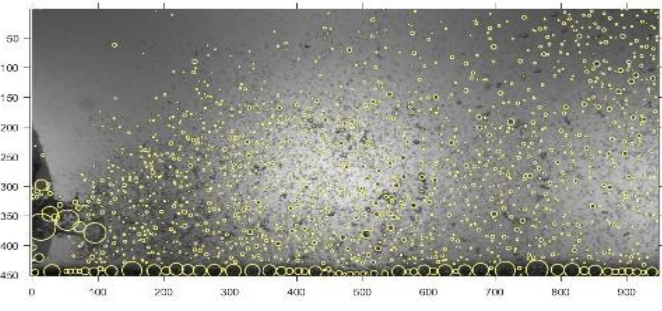
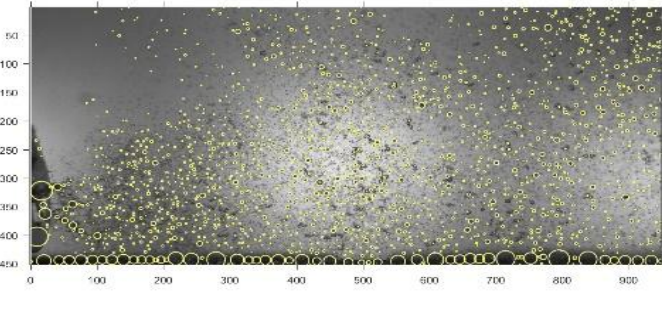
Berdasarkan data yang telah didapat dari *digital image processing* terhadap variasi debit air beraliran *swirl* untuk mengetahui efek aliran tersebut, Gambar 3.3. menunjukkan bahwa debit air 45 lpm memiliki nilai PDF tertinggi pada diameter *bubble* 300 μm , yaitu 0,38042. Sedangkan nilai PDF terendah ditunjukkan oleh debit air 30 lpm, yaitu 0,34825. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar debit air maka akan dihasilkan *microbubble* dengan ukuran terkecil terbanyak dibandingkan dengan debit air yang lebih rendah. Pada debit udara yang konstan, meningkatnya debit air akan menyebabkan penyebaran diameter *microbubble* akan lebih merata. Mengacu pada gambar grafik diatas dapat kita ketahui bahwa nilai distribusi diameter *bubble* yang diakibatkan oleh efek aliran *swirl* memiliki persentase diameter *bubble* terbesar pada rentang 250 – 300 μm .

4. KESIMPULAN

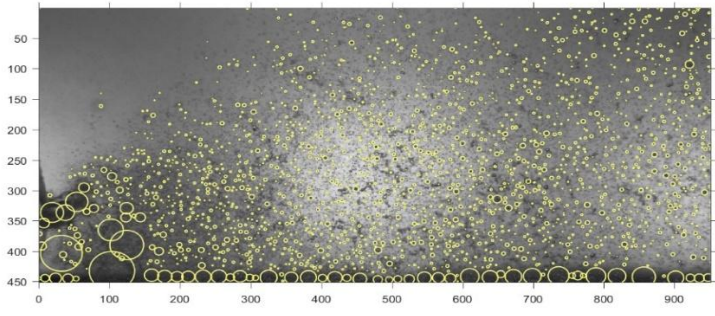
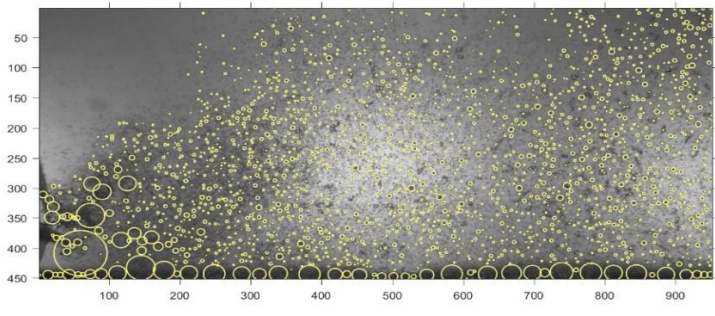
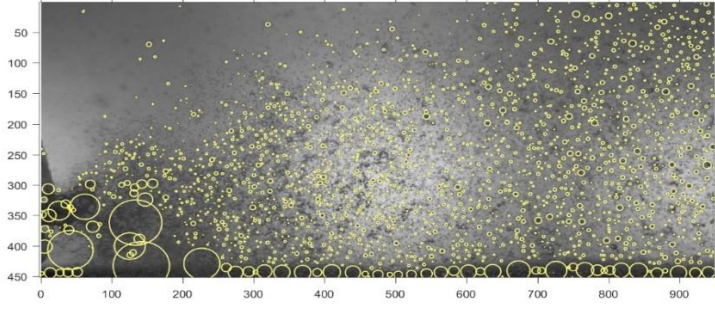
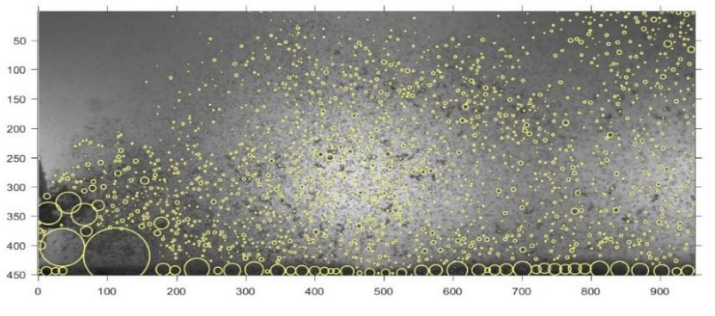
Berdasarkan hasil penelitian mengenai Kaji Eksperimental Pengaruh Debit Air Dan Udara Terhadap Distribusi Gelembung Yang Dihasilkan Alat Penghasil Gelembung, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Debit udara tidak memiliki peran yang signifikan terhadap distribusi diameter *microbubble* yang dihasilkan, tetapi seiring naiknya nilai debit udara, maka diameter *microbubble* yang terbentuk akan semakin besar.
- Debit air memiliki pengaruh yang signifikan terhadap distribusi diameter *microbubble*, seiring naiknya debit air maka diameter *microbubble* yang dihasilkan akan semakin kecil, tetapi pembentukan *microbubble* akan semakin cepat.

Tabel 4. 1 Gambar Hasil *Image Processing* QL 30-45 lpm pada QG konstan 0,2 lpm

QL (lpm)	Image Processing Microbubble
30	 A grayscale image showing a dense distribution of small, bright, circular microbubbles. The bubbles are concentrated in the lower-left corner and along the bottom edge, with a few scattered throughout the rest of the frame. The image has a coordinate system with x-axis from 0 to 900 and y-axis from 50 to 450.
35	 A grayscale image showing a dense distribution of small, bright, circular microbubbles. The bubbles are concentrated in the lower-left corner and along the bottom edge, with a few scattered throughout the rest of the frame. The image has a coordinate system with x-axis from 0 to 900 and y-axis from 50 to 450.
40	 A grayscale image showing a dense distribution of small, bright, circular microbubbles. The bubbles are concentrated in the lower-left corner and along the bottom edge, with a few scattered throughout the rest of the frame. The image has a coordinate system with x-axis from 0 to 900 and y-axis from 50 to 450.
45	 A grayscale image showing a dense distribution of small, bright, circular microbubbles. The bubbles are concentrated in the lower-left corner and along the bottom edge, with a few scattered throughout the rest of the frame. The image has a coordinate system with x-axis from 0 to 900 and y-axis from 50 to 450.

Tabel 4. 2 Gambar Hasil *Image Processing* QG 0,2-0,8 lpm pada QL konstan 40 lpm

Q _G (lpm)	Image Processing Microbubble
0,2	 A grayscale image showing a dense distribution of microbubbles. The bubbles are represented by yellow circles of varying sizes. The image has a coordinate system with the x-axis ranging from 0 to 900 and the y-axis ranging from 50 to 450.
0,4	 A grayscale image showing a dense distribution of microbubbles. The bubbles are represented by yellow circles of varying sizes. The image has a coordinate system with the x-axis ranging from 0 to 900 and the y-axis ranging from 50 to 450.
0,6	 A grayscale image showing a dense distribution of microbubbles. The bubbles are represented by yellow circles of varying sizes. The image has a coordinate system with the x-axis ranging from 0 to 900 and the y-axis ranging from 50 to 450.
0,8	 A grayscale image showing a dense distribution of microbubbles. The bubbles are represented by yellow circles of varying sizes. The image has a coordinate system with the x-axis ranging from 0 to 900 and the y-axis ranging from 50 to 450.

5. SARAN

- Untuk perkembangan penelitian, penulis memberikan beberapa saran berikut:
- a. Penelitian pengaruh aliran swirl terhadap unjuk kerja microbubble generator tipe swirl jet dapat menggunakan microbubble generator yang tidak terjadi pengecilan penampang secara mendadak.
 - b. Flowmeter udara yang baru untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih akurat.
 - c. Melakukan penyaringan air yang digunakan untuk eksperimen agar hasil yang didapatkan lebih jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Salmin, "Kadar Oksigen Terlarut di Perairan Sungai Dadap, Goba, Muara Karang dan Teluk Banten," *P3O-LIPI*, pp. 42-46, 2000.
- [2] T. Temesgen, "Micro and nanobubble technologies as a new horizon for water-treatment," *Advances in Colloid and Interface Science*, p. 42, 2017.
- [3] T. Marui, *Systemetics, Cybernetics, and Informatics*, p. 68, 2013.
- [4] A. Gordiychuk, "Size distribution and Sauter mean diameter of micro bubbles for a Venturi type bubble generator," *Experimental Thermal and Fluid Science*, p. 51, 2015.
- [5] H. S. Alam, "Design and Performance of Swirl Flow Microbubble Generator," *International Journal of Engineering & Technology*, p. 66, 2018.
- [6] K. Amagai, "ATOMIZATION CHARACTERISTICS OF LIQUID CONTAINING MICRO-BUBBLES," 2006.
- [7] M. Takahashi, "Potential of Microbubbles in Aqueous Solutions: Electrical Properties of the Gas-Water Interface," 2005.
- [8] J. K. Edzwald, "Dissolved air flotation and me," 2009.
- [9] A. Agarwal, "Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment," *Chemosphere*, 2011.
- [10] R. Parmar, "Microbubble generation and microbubble-aided transport process intensification—A state-of-the-art report," *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 2013.
- [11] J. Lyklema, "Fundamentals of Interface and Colloid Science: Volume 1 (Fundamentals)," *Academic Press, UK*, 2000.
- [12] Y. N. H. K. H. Hasegawa, "Electrical potential of microbubble generated by shear flow in pipe with slits," *Fluid Dynamic and Research*, pp. 554-564, 2008.
- [13] S. D. M. Han, "Zeta potential measurement of bubbles in DAF process and its effect on the removal efficiency," *KSCE Journal of Civil Engineering* 2, p. 446-461, 1998.
- [14] T. I. T. E. S. Serizawa, "Microbubble-containing milky air that rises in a vertical cylinder-flow characteristics and the phenomenon of pseudo-laminar flow of bubbles in an aqueous system," 2005.
- [15] Y. Kodama, "Reduction in ship's resistance by microbubbles," 2007.
- [16] Y. D. M. J. Lecofree, "Micro-bubble Injector," 1985.
- [17] R.-H. A. G. L. G. Yoon, "Process and Apparatus for Separating Fine Particle by Micro-bubble Floatation Together with a Process and Apparatus for Generation of Microbubble," 1991.
- [18] M. K. A. M. H. S. S. Sadatomi, "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, pp. 23- 30, 2012.
- [19] M. G. M. Kukizaki, "Spontaneous Formation behavior of Unifor sized Microbubbles From Shirasu Porous Glass (SPG) Membranes in The Absense of Water Phase Flow," *Colloids and Surface*, pp. 174-181, 2007.
- [20] K. H. S. Y. S. Tabei, "Study of Micro Bubble Generation by a Swirl Jet," *Journal of Environment and Engineering*, p. 172 – 182, 2007.
- [21] M. I. K. T. I. N. M. Ishikawa, "PIV Measurement of a Concentration Flow Using Micro-Bubble Tracer," *The 6th International Symposium on Measurement Techniques for Multiphase Flow*, 2009.
- [22] Z. A. E. S. M. E. Oguzhan Gunduz, "Continuous Generation of Ethyl Cellulose Drug Delivery," *Electronic supplementary material*, 2012.
- [23] W. S. W. H. Y. F. H. L. Zhekun Li, "Computer Simulation Method for the Bubbling Performance of the Vortex Microbubble Generator," *International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation*, 2015.
- [24] F. M. N. W. E. J. W. B. D. I. Akmal Irfan Majid, "On the performance of venturi-porous pipe microbubble generator with inlet angle of 20° and outlet angle of 12°," *AIP Conference Proceedings*, 2018.
- [25] S. Srithongouthai, "Control of dissolved oxygen levels of water in net pens for fish farming by a microscopic bubble generating system," *Fisheries Science*, pp. 485-493, 2006.
- [26] F. Rosariawari, "Peningkatan Efektivitas Aerasi dengan Menggunakan Microbubble Generator (MBG)," 2018.
- [27] H. Poppel, "Aeration and Gas Transfer," 1974.
- [28] H. Kyotoh, "Applications of Swirling-type Micro-bubble Generator to Engineering Problems," dalam *Micro/Nano-bubble Technology*, Thailand, 2012.
- [29] ANSYS, Inc., *ANSYS Fluent Tutorial Guide*, Canonsburg, PA, 2013.
- [30] O. A. C. B. M. L. P. P. Jaiboon, "Effect of flow pattern on power spectral density of pressure fluctuation," *Powder technology*, vol. 233, pp. 215-226, 2013.