



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KARAKTERISTIK GENERATOR  
GELEMBUNG MIKRO JENIS VENTURI DAN BOLA  
DALAM TABUNG**

**SKRIPSI**

**NURSANTY ELISABETH**

**0606073392**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**DEPOK**

**JULI 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**NURSANTY ELISABETH**

**0606073392**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**DEPOK**

**JULI 2010**

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul :

### **KARAKTERISTIK GENERATOR GELEMBUNG MIKRO JENIS VENTURI DAN BOLA DALAM TABUNG**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Nama : Nursanty Elisabeth

NPM : 0606073392

Tanda Tangan :

Tanggal : Juni 2010

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Nursanty Elisabeth  
NPM : 0606073392  
Program studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Karakteristik Generator Gelembung Mikro Jenis Venturi dan Bola dalam Tabung.

**Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Warjito, M Eng. ( )  
Penguji : Prof. Dr. Ir. Budiarmo, M Eng ( )  
Penguji : Dr. Ir. Harinaldi, M Eng ( )  
Penguji : Dr. Ir. Ahmad Indra ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2010

## KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, karena atas berkat dan karunia dari-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tugas akhir ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orangtua Penulis, H. Marbun dan N. Samosir serta kakak Penulis Dolok Banjarnahor, Domian Banjarnahor, Erliana Banjarnahor, David Banggas Halomoan. Terima kasih atas cinta, doa, dukungan, bimbingan dan kekuatan setiap saat. ‘ Syukur memiliki keluarga seperti ini ’
2. Dr. Ir. Warjito, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tugas akhir ini. ‘Terima kasih Pak untuk ilmu yang tak ternilai harganya.’
3. Semua dosen, staf pengajar dan karyawan DTM - FTUI yang secara langsung atau tidak langsung memberikan pelajaran, wawasan dan informasi serta telah menjadi sosok idola baru bagi penulis. Salut atas kesediaannya mengabdikan untuk ilmu pengetahuan demi kemajuan bangsa.
4. Teman seperjuangan di laboratorium lantai 3, Mekanika Fluida, Perpindahan Panas dan Pendingin yang terus menjadi teman dalam proses penelitian, penyusunan dan diskusi dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Martha Indah R. L, Priya Nugraha, Nicolaus CTPP, Herowiko Thama, R.A Farid, Danang Eka, Dipo Andika, Octaviandy SS, Indra Prananta Alkautsar dan Rachmad Hidayat.

6. Teman-teman seperjuangan di teknik Mesin 2006, yang membantu dengan dukungan tenaga, waktu dan semangat. Ilham Riadhi, Ryan Firmansyah, Ageng Amarendra, Gunawan M Alif, Ferdy Bastian, M. Iqbal, David Sidebang, Ferry Hartanto, Dimas Randitya, R Arya Trisutrisno, Irvandi Permana, Fajar Prananda, Iqbal Anziva, Adam Adiwinata, Rizki Ananda, Cakra R, Feri Ardi, Rio Adriansyah, Andotama Kharisma, Raja J.R, Deddy Rizki, Edwin Waskito, Danal Arfad, R A Fakhri, Reynaldo BTY, Raka Kautsar Lahia, Jimmy Trisahala, Kristoforus B Rengka, Angga Purnama Putra, Anggariawan, Apriyos Naldi, Chairul Octora, Rikko Defriadi, Satriawan Wiguna, Oldy Darius, Hamdani Pujiyanto, Ridho Irwansyah, dan Reza Kurnia. Nama-nama lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu, Terimakasih sahabat, untuk semua tawa yang kita bagi bersama.
6. Semua pihak, senior dan junior, teman kelompok kecil, teman dari jurusan serta fakultas lain yang memberi inspirasi dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Ka Wielder Piazza, Ka Arthur Marulaktua, Ka Edward Harisson, Ka Ariezky, Ka Frisca dan Rachmi Satarsyah.

Semoga Tuhan Yang Maha Kuasa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penulis. Tugas akhir ini jauh dari kata sempurna, banyak terdapat kekurangan, kiranya dapat menjadi bahan pembelajaran dimasa yang akan datang. Akhir kata, semoga tugas akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan demi kemajuan bangsa Indonesia. Amin.

Depok, Juni 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nursanty Elisabeth  
NPM : 0606073392  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**KARAKTERISTIK GENERATOR  
GELEMBUNG MIKRO JENIS VENTURI DAN BOLA  
DALAM TABUNG**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juni 2010

Yang menyatakan

( Nursanty Elisabeth )

## KARAKTERISTIK GENERATOR

### GELEMBUNG MIKRO JENIS VENTURI DAN BOLA DALAM TABUNG

#### ABSTRAK

Penelitian karakteristik *microbubble generator* jenis venturi tube dan *spherical ball in flowing water* telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh parameter geometri dan aliran terhadap karakter *bubble* yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan water loop system yang terdiri dari kolam pengamatan, pompa, *flow meter*, *valve*, dan *test section*. *Test section* adalah *micro bubble generator* jenis venturi dan *spherical ball*. Pada penelitian ini digunakan beberapa venturi *microbubble generator* dengan berbagai variasi bentuk geometri dan ukuran dilakukan pada berbagai variasi debit air dan debit udara. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa *microbubble generator* yang dirancang mampu menghasilkan *microbubble*. Parameter-parameter yang diujikan secara signifikan memberi pengaruh terhadap jumlah dan ukuran *microbubble*. Semakin besar debit udara, semakin banyak jumlah *bubble* yang dihasilkan namun ukuran *bubble* semakin besar. Debit air yang meningkat menghasilkan jumlah *bubble* yang semakin banyak dengan ukuran yang lebih kecil. Pengaruh perbandingan diameter bola dengan diameter *tube* pada *spherical ball microbubble generator* adalah signifikan. Semakin besar rasio diameter bola dengan diameter *tube* semakin kecil *bubble* yang dihasilkan. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa *microbubble generator* yang diuji mampu menghasilkan *microbubble*. Populasi dan ukuran *microbubble* sensitif terhadap rasio aliran udara dan air serta geometri dari *microbubble generator*.

**Kata Kunci :** *Microbubble*, *Venturi tube*, *Spherical ball*, geometri, debit.



Nursanty Elisabeth  
0606073392  
Departemen Teknik Mesin

Dosen Pembimbing Dr. Ir. Warjito, M.Eng

## **CHARACTERISTICS OF VENTURI TYPE AND SPHERICAL BALL IN TUBE BUBBLE GENERATOR**

### **ABSTRACT**

Research about characteristic of Venturi tube microbubble generator type and spherical ball in flowing water type has been carried out. This research aims to study the influence of geometry and flow parameters on bubble generated characters. This research use loop water system consist of the observation reservoir, pump, flow meters, valves, and test section. Test section is a micro-bubble generator venturi type and spherical ball type. In this study, microbubble generator varies of air flow rate, water flow rate and geometry. Results from this study is the designed microbubble generator can produce microbubble. The tested parameters significantly influence the number and size of the microbubble. Increasing air flow rate will affect increasing number of bubbles produced with bigger bubble size. Water flow rate increased wil affect increasing produce number of bubbles with a smaller size. Effect of a comparison between the diameter of the ball diameter tube at the spherical ball microbubble generator are significant. The greater ratio of the ball diameter with tube, smaller diameter bubble will produced. From this study it is concluded that microbubble generator capable microbubble. Microbubble size and population sensitive to air and water flow ratio and geometry of microbubble generator.

**Keywords :** *Microbubble, Venturi tube, Spherical ball, geometry , flow rate.*

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	3
1.4 BATASAN MASALAH.....	4
1.5 METODE PENELITIAN.....	4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	5
BAB 2 DASAR TEORI.....	6
2.1 PENGERTIAN BUBBLE.....	6
2.2 MICROBUBBLE GENERATOR.....	6
2.2.3 VENTURI TUBE.....	7
2.2.4 SPHERICAL BALL IN FLOWING WATER.....	8
2.3 VOID FRACTION.....	9
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	11
3.1 SISTEM PEMIPAAN.....	11

3.1.1	Menentukan daerah <i>Entrance Length</i> .....	11
3.1.2	Pompa .....	13
3.1.3	Flowmeter Air.....	13
3.1.4	Flowmeter Udara.....	15
3.2	<i>TEST SECTION</i> .....	15
3.3	PENGAMATAN.....	17
3.3.1	Kolam Pengamatan.....	17
3.3.2	Kamera Dan Tripod.....	18
3.3.3	Manometer.....	19
3.3.4	Pressure Gauge.....	19
3.3.5	Lampu Penerangan .....	20
3.4	SKEMATIK ASSEMBLY PERALATAN.....	20
3.5	PENGAMBILAN DATA.....	21
3.5.1	Pengambilan Data Visual.....	22
3.5.2	Pengambilan data pada Venturi.....	23
3.5.3	Pengambilan Data pada Spherical Ball In Flowing Water Tube.....	25
BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA.....		28
4.1	PENGOLAHAN DATA VISUAL.....	28
4.2	PENGOLAHAN DATA VENTURI.....	32
4.2.1	Bilangan Reynolds.....	32
4.2.2	Void Fraction.....	34
4.2.3	Tekanan pada Venturi Tube.....	34
4.3	PENGOLAHAN DATA TEKANAN SPHERICAL BALL.....	40
4.3.1	Bilangan Reynolds.....	40
4.3.2	Void Fraction.....	41
4.3.3	Tekanan pada Spherical Ball.....	42
4.4	HASIL PENGOLAHAN DATA VISUAL.....	46
4.4.1	Venturi dengan $dv = 2 \alpha_d = 10^\circ$ $Q_{air} = 7lpm$ .....	47

4.4.2 Spherical Ball dengan diameter bola 22mm.....	52
4.5 ANALISA.....	58
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	67
DAFTAR ACUAN.....	68
DAFTAR PUSTAKA.....	70
LAMPIRAN.....	71



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Tabel Bilangan Reynolds untuk debit air pada venturi	33
Tabel 4.2 Void Fraction pada venturi	34
Tabel 4.3 Tekanan pada venturi dengan $d_v = 2\text{mm}$ dan $\alpha_d = 10^\circ$	34
Tabel 4.4 Tabel Bilangan Reynolds untuk pada spherical ball	41
Tabel 4.5 Void Fraction pada <i>Spherical Ball</i>	42
Tabel 4.6 Tabel tekanan pada <i>spherical ball</i>	42
Tabel 4.7 Hasil olah data venturi dengan $d = 2$ $\alpha_d = 10^\circ$ $Q_{\text{air}} = 7\text{lpm}$	47
Tabel 4.8 Hasil olah data venturi dengan $d = 2$ $\alpha_d = 10^\circ$ $Q_{\text{air}} = 8\text{lpm}$	48
Tabel 4.9 Hasil olah data venturi dengan $d = 2$ $\alpha_d = 10^\circ$ $Q_{\text{air}} = 9\text{lpm}$	49
Tabel 4.10 Hasil olah data venturi dengan $d = 2$ $\alpha_d = 10^\circ$ $Q_{\text{air}} = 10\text{lpm}$	50
Tabel 4.11 Hasil olah data venturi dengan $d = 2$ $\alpha_d = 10^\circ$	51
Tabel 4.12 Jumlah <i>Bubble Spherical Ball</i> dengan diameter bola 22 mm pada debit air 25 lpm	53
Tabel 4.13 Jumlah <i>Bubble Spherical Ball</i> dengan diameter bola 22 mm pada debit air 30 lpm.	54
Tabel 4.14 Jumlah <i>Bubble Spherical Ball</i> dengan diameter bola 22 mm pada debit air 35 lpm	55
Tabel 4.15 Hasil data spherical ball dengan d bola 22mm	57

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gambaran spherical bubble pada aliran yang tak terhingga	6
Gambar 2.2	Herschel Venturi Tube	7
Gambar 2.3	Tekanan pada venturi	9
Gambar 2.4	Spherical Ball Microbubble generator	10
Gambar 3.1	Sistem pemipaan water loop	12
Gambar 3.2	Tampak depan dan tampak samping Pompa Air	13
Gambar 3.3	Flowmeter Air untuk venturi	14
Gambar 3.4	Flowmeter Air untuk spherical ball	14
Gambar 3.5	<i>Flowmeter</i> untuk udara	15
Gambar 3.6	Venturi Microbubble Generator $D_o = 8\text{mm}$ , $D_1 = 2\text{mm}$	16
Gambar 3.7	Venturi Microbubble Generator $D_o = 8\text{ mm}$ , $D_1 = 3\text{mm}$	16
Gambar 3.8	Venturi Microbubble Generator $D_o = 8\text{ mm}$ , $D_1 = 4\text{mm}$	16
Gambar 3.9	Assembly test section veturi	16
Gambar 3.10	Sperical Ball Microbubble Generator	17
Gambar 3.11	Assembly test section	17
Gambar 3.12	Kolam Pengamatan	17
Gambar 3.13	Kamera dan tripod	18
Gambar 3.14	Manometer Raksa	19
Gambar 3.15	Pressure gauge	19

Gambar 3.16 Lampu Penerangan	20
Gambar 3.17 Skematik alat	20
Gambar 3.18 Foto assambly peralatan	22
Gambar 3.19 Metode Pengambilan gambar	22
Gambar 3.20 Diagram variasi parameter pada <i>Venturi tube</i>	23
Gambar 3.21 Gambaran parameter geometri yang divariasikan pada venturi	23
Gambar 3.22 Diagram variasi parameter pada <i>Spherical ball in flowing water tube</i>	25
Gambar 3.23 Diagram variasi parameter pada <i>spherical ball</i>	26
Gambar 4.1 Langkah membuka file gambar	28
Gambar 4.2 Menentukan skala	29
Gambar 4.3 Memperjelas gambar. Process - Find Edges	29
Gambar 4.4 Image J : <i>Process – Smooth</i>	30
Gambar 4.5 Image J : Mengubah menjadi 8 bit	30
Gambar 4.6 Image J : <i>Process – Binary</i>	31
Gambar 4.7 Analisa partikel	31
Gambar 4.8 Hasil analisa	32
Gambar 4.9 Grafik perbandingan Debit air dengan Re pada Venturi	33
Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan dengan Q udara = 0.1 lpm	36
Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan dengan Q udara = 0.2 lpm	36
Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan dengan Q udara = 0.3 lpm	37

Gambar 4. 13 Grafik Pressure drop pada Q air = 7 lpm	37
Gambar 4. 14 Grafik Pressure drop pada Q air = 8 lpm	38
Gambar 4. 15 Grafik Pressure drop pada Q air = 9 lpm	38
Gambar 4. 16 Grafik Pressure drop pada Q air = 10 lpm	39
Gambar 4. 17 Grafik Pressure drop pada venturi $d_v = 2\text{mm}$ dan $\alpha_d = 10^\circ$	39
Gambar 4.18 Grafik perbandingan Debit air dengan bilangan Reynolds pada <i>Spherical ball</i>	41
Gambar 4. 19 Grafik Perbandingan dengan Q udara = 0.4 lpm	43
Gambar 4. 20 Grafik Perbandingan dengan Q udara = 0.6 lpm	43
Gambar 4. 21 Grafik Perbandingan dengan Q udara = 0.3 lpm	44
Gambar 4.22 Pressure Drop Spherical Ball Microbubble Generator	45
Gambar 4.23 Bubble hasil venturi dengan $d_v = 2$ $\alpha_d = 10^\circ$ $Q_{\text{air}} = 7\text{lpm}$	46
Gambar 4.24 Bubble hasil venturi dengan $d_v = 2$ $\alpha_d = 10^\circ$ $Q_{\text{air}} = 8\text{lpm}$	46
Gambar 4.25 Bubble hasil venturi dengan $d_v = 2$ $\alpha_d = 10^\circ$ $Q_{\text{air}} = 9\text{lpm}$	46
Gambar 4.26 Bubble hasil venturi dengan $d_v = 2$ $\alpha_d = 10^\circ$ $Q_{\text{air}} = 10\text{lpm}$	46
Gambar 4.27 Grafik presentase bubble setiap kelas pada Q air = 7 lpm	48
Gambar 4.28 Grafik presentase bubble setiap kelas pada Q air = 8 lpm	49
Gambar 4.29 Grafik presentase bubble setiap kelas pada Q air = 9 lpm	50
Gambar 4.30 Grafik presentase bubble setiap kelas pada Q air = 10 lpm	51
Gambar 4.31 Hasil <i>Microbubble</i> Spherical Ball dengan diameter bola 22mm pada debit air 25 lpm dan debit udara 4 lpm, 6 lpm, 8lpm	52



Gambar 4.32 Hasil <i>Microbubble</i> Spherical Ball dengan diameter bola 22mm pada debit air 30 lpm dan debit udara 4 lpm, 6 lpm, 8lpm	52
Gambar 4.33 Hasil <i>Microbubble</i> Spherical Ball dengan diameter bola 22mm pada debit air 35 lpm dan debit udara 4 lpm, 6 lpm, 8lpm	52
Gambar 4.34 Grafik persentase diameter bubble pada debit air 25 lpm	54
Gambar 4.35 Grafik persentase diameter bubble pada debit air 30 lpm	55
Gambar 4.36 Grafik persentase diameter bubble pada debit air 35 lpm	57
Gambar 4.37 Grafik jumlah dan ukuran bubble venturi $d_v = 2\text{mm}$	59
Gambar 4.38 Jumlah microbubble pada variasi debit udara	61
Gambar 4.39 Grafik Pressure drop dengan debit air pada 5 jenis venturi	62
Gambar 4.39 Grafik jumlah bubble pada 5 jenis venturi	62
Gambar 4.54 persentase microbuuble pda spherical ball	64

## DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Dimensi
A	luas	$m^2$
dv	diameter kecil venturi	m
DV	diameter besar venturi	m
db	diameter bola	m
g	percepatan gravitasi	$m/s^2$
h	tinggi fluida	m
le	entrance length	m
p	tekanan sepanjang aliran	Pa
Re	Reynolds number	
Q	debit	$m^3/s$
v	kecepatan fluida	m/s
$\rho$	massa jenis fluida	kg / s
$\mu$	viskositas	$N s / m^2$
$\alpha$	void fraction	
$\alpha_d$	sudut diverging cone	

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### I.1 LATAR BELAKANG

Pemanfaatan energi yang lebih efisien tanpa merusak lingkungan menjadi perhatian masyarakat dunia mengingat lingkungan sudah tercemar dan persediaan energi yang semakin terbatas. Isu pemanasan global dan persediaan energi yang terus menipis menjadi pertimbangan dalam menggunakan teknologi saat ini. Salah satu metode untuk meningkatkan efisiensi adalah dengan mengurangi hambatan pada alat transportasi. Salah satu teknologi yang sedang dikembangkan saat ini adalah penggunaan *microbubble*. Setelah melalui berbagai penelitian yang dilakukan, *microbubble* semakin menarik untuk diketahui berbagai karakteristiknya sehingga dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi.

*Microbubble* adalah gelembung udara dengan diameter kurang dari 200  $\mu\text{m}$  di dalam air. *Microbubble* juga dapat didefinisikan sebagai gelembung tidak berdimensi yang ukurannya harus lebih kecil atau sama dengan ukuran eddies terkecil pada aliran turbulen agar lebih efektif pada boundary layer [1]. Ukuran *microbubble* memiliki peranan penting jika dikaitkan dengan kegunaannya[2]. Kegunaan *microbubble* yang tengah dikembangkan antara lain *frictional drag reduction* pada kapal, *Microbubble floatation technique* yaitu pemisahan minyak dan air, proses penghilangan mikroorganisme faktor pembusukan pada kerang dan tiram, teknologi radiologi dan kardiologi di bidang kedokteran, serta sebagai pembersih badan[3].

Salah satu aplikasi yang banyak dikembangkan pada karya tulis ini adalah *drag reduction* pada kapal. Kapal merupakan salah satu alat transportasi penting, apalagi di negara kepulauan seperti Indonesia. Selain sebagai pengangkut manusia kapal juga banyak digunakan untuk mengangkut barang dengan kapasitas besar. Kapal termasuk alat transportasi yang menggunakan bahan bakar fosil dengan zat emisi yang dapat menyebabkan pemanasan global. Salah satu cara mengurangi konsumsi bahan bakar tersebut adalah dengan mengurangi hambatan gesek. *Microbubble* mengurangi gesekan pada kulit terluar kapal yang bergerak di

dalam air dengan cara menginjeksi gelembung-gelembung kecil ke dalam lapisan pembatas yang bersifat turbulen [4]. Peneliti yang pertama kali melakukan penelitian ini adalah McCormik dan Bhattacharyya pada tahun 1973 dengan menggunakan elektrolisis kawat tembaga untuk menghasilkan *microbubble*. Metode ini dinilai sebagai metode yang memiliki efisiensi energi tertinggi dan konstruksi yang lebih sederhana dari teknik-teknik lainnya [5]. Yashaki Kodama dan kawan-kawan melakukan penelitian *flat plate ship* di *towing tank*, dengan menggunakan *microbubble* diperoleh pengurangan *drag* sebesar 23 % pada kecepatan 7 m/sec [6]. Steven.L. Ceccio dan kawan-kawan pada tahun 2006 berhasil membandingkan hasil yang diperoleh oleh Ferrante dan Elghobashi serta Xu dengan menggunakan *Microbubble* dapat mencapai pengurangan *drag* sebesar 80% dan menyimpulkan bahwa *microbubble* yang berukuran kecil sangat efektif[2].

*Microbubble* dapat dihasilkan dengan berbagai cara, alat yang menghasilkan gelembung dengan ukuran mikron ini disebut sebagai *microbubble generator*. Sampai dengan saat ini terdapat 4 jenis *microbubble generator* dengan cara kerja yang berbeda yang sampai saat ini masih dikembangkan, yaitu *electrolytic microbubble generator*, *porous plate*, *spherical body in a flowing water tube*, dan *venturi tube type microbubble generator*[3]. *Venturi tube type Microbubble generator* menggunakan prinsip kerja pipa venturi dengan perbedaan luasan sehingga menimbulkan perbedaan kecepatan akibat debit air yang sama. Fenomena yang terjadi antara lain penurunan tekanan dan kenaikan kecepatan sehingga akan terjadi bubble dengan ukuran kecil.

Penelitian di laboratorium Mekanika Fluida Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia sudah sangat beragam untuk dapat mengetahui karakteristik *microbubble* ini. Aris Kurniawan pada tahun 2008 melakukan penelitian pengaruh *microbubble* terhadap *drag reduction* pada model kapal. *Microbubble* dihasilkan dari proses elektrolisa pada elektroda tembaga yang dililitkan di labung model kapal. Hasilnya gaya tarik dari model kapal dengan *microbubble* lebih kecil dibandingkan tanpa *microbubble*. Martriadhi Laksana pada tahun 2008 melakukan penelitian dengan menguji *Microbubble generator spherical body in a flowing water tube* yang dapat menghasilkan *microbubble* dengan ukuran dibawah

50  $\mu\text{m}$ . Hendro pada tahun yang sama meneliti *microbubble generator* dengan metode *venturi tube* yang dapat menghasilkan *microbubble* dibawah 50  $\mu\text{m}$ . Rachmad melakukan penelitian aliran 2 fasa, yakni gas dan cair pada tahun 2009. Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat dipelajari berbagai hal yang penting, namun masih terdapat banyak hal yang dapat dipelajari agar karakteristik dari *microbubble generator* diketahui lebih dalam. Tugas akhir ini berisi tentang penelitian mengenai *venturi tube microbubble generator* dengan beberapa variasi ditinjau dari perbedaan sudut dan perbandingan antar diameter kecil dan diameter besar, serta *spherical body in a flowing water tube microbubble generator* dengan perbedaan diameter bola. Penelitian yang dilakukan focus terhadap bubble yang dihasilkan. Seperti yang telah diketahui ukuran *bubble* serta populasi bubble merupakan karakteristik yang penting dalam aplikasi *drag reduction*, sehingga penelitian ini menjadi penting untuk melakukan penelitian *drag reduction*.

## **I.2 RUMUSAN MASALAH**

Venturi dan *spherical ball* melalui berbagai penelitian dapat menghasilkan *bubble*, namun belum diketahui pengaruh geometri dan debit air serta debit udara kaitannya dengan *bubble* yang dihasilkan. Penelitian yang lebih lanjut untuk mendapatkan hubungan mengenai parameter-parameter tersebut dengan *bubble* yang dihasilkan baik dari segi diameter ataupun dari segi jumlah *bubble* yang dihasilkan menjadi penting untuk diketahui.

## **I.3 TUJUAN PENELITIAN**

Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan *Venturi tube type microbubble generator* dan *spherical body in flowing tube microbubble generator* yang dapat menghasilkan *bubble* dengan ukuran dibawah 200  $\mu\text{m}$  dengan visualisasi *bubble* sehingga dapat mengetahui karakteristik pengaruh parameter-parameter terkait seperti geometri, debit air dan debit udara dalam pencapaian ukuran dan jumlah *bubble* dalam *Venturi tube type microbubble generator* dan *spherical ball microbubble generator*.

#### 1.4 BATASAN MASALAH

Penyusunan Tugas Akhir ini dibatasi pada hal – hal berikut :

- *Microbubble generator* yang digunakan adalah *microbubble generator venturi tube* dan *microbubble generator spherical ball in flowing water tube* dalam pipa beraliran.
- Penelitian dilakukan untuk memahami pengaruh parameter geometri dan aliran terhadap ukuran *bubble* yang dihasilkan oleh *microbubble generator*.
- Visualisasi *microbubbles* dengan menggunakan foto dari hasil percobaan.

#### 1.5 METODE PENELITIAN

Dalam penulisan tugas akhir ini metode yang digunakan adalah sebagai berikut :

##### 1.5.1 Studi Literatur

Literatur - literatur yang digunakan sebagai referensi dalam penulisan tugas akhir ini antara lain : buku; jurnal; artikel; skripsi; dan internet. Literatur – literatur tersebut menjadi dasar yang digunakan dalam proses perancangan dan pengembangan *microbubble generator*.

##### 1.5.2 Perancangan *Test Section*

Melakukan proses perhitungan dan perancangan *microbubble generator*, sehingga dari perhitungan dan perancangan tersebut dapat menghasilkan *bubble* dengan ukuran  $\leq 200 \mu\text{m}$ .

##### 1.5.3 Proses Fabrikasi dan Instalasi

Langkah selanjutnya ialah proses fabrikasi. Setelah proses fabrikasi selesai, kita dapat memasang peralatan tersebut menjadi suatu kesatuan alat *microbubble generator*.

##### 1.5.4 Proses *Trial* dan Modifikasi

Pada tahap ini, setelah alat telah terinstalasi dengan baik, dilakukan proses percobaan awal apakah setiap elemen dari alat-alat tersebut telah berfungsi dengan baik, apabila masih terdapat kesalahan maka dilakukan proses perbaikan atau modifikasi.

##### 1.5.5 Proses Pengambilan dan Pengolahan Data

Tahap selanjutnya adalah proses percobaan dengan melakukan pengambilan data, yang pada akhirnya data-data tersebut diolah untuk mendapatkan nilai antara lain :

perbedaan tekanan pada *Test Section*, Debit air dan udara yang paling optimum, visualisasi fenomena *microbubble* dan jumlah *microbubble* yang dihasilkan.

### **1.5.6 Penyusunan Laporan**

Pada tahap ini, seluruh data percobaan beserta litelatur-litelatur pendukung dirangkum dan diformulasikan kedalam bentuk tulisan, sebagai bentuk laporan hasil penelitian.

## **1.6 SISTEMATIKA PENULISAN**

Sistematika penulisan tugas akhir ini, disusun berdasarkan ketentuan sebagai berikut :

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penulisan, dan sistematika penulisan.

### **BAB 2 DASAR TEORI**

Bab ini membahas tentang konsep-konsep yang menjadi dasar teori dalam perancangan, pengertian umum *microbubble generator* dan aplikasinya dalam, dasar teori dari berbagai literatur.

### **BAB 3 METODE PENELITIAN DAN PENGAMBILAN DATA**

Bab ini menjelaskan mengenai proses pembuatan desain *microbubble generator* dan *test section* beserta rumusan perhitungannya. Bab ini membahas tentang prosedur pengambilan data visualisasi *microbubble* dan cara pengolahan data ukuran *microbubble* serta prosedur dalam mengolah data yang didapatkan dari percobaan.

### **BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA**

Bab ini membahas hasil dan data dari percobaan yang telah diolah untuk masing-masing variasi. Tahap selanjutnya adalah analisa mengenai fenomena yang terjadi.

### **BAB 5 KESIMPULAN**

Bab ini membahas mengenai kesimpulan yang didapatkan dari hasil perancangan rancang bangun dan percobaan serta saran dari penulis.

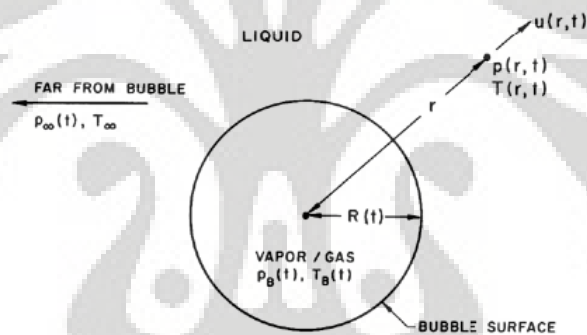


## BAB 2

### DASAR TEORI

#### 2.1 PENGERTIAN BUBBLE

Bubble atau gelembung adalah partikel dengan fase pembentuknya adalah gas. Definisi umum dari bubble adalah sebagai lapisan tipis yang berbentuk bola atau setengah bola berisi udara atau gas yang terbentuk di dalam cairan[7]. Dengan asumsi temperatur tetap, radius bubble berubah menurut waktu dengan faktor-faktor seperti perubahan tekanan yang diasumsikan dapat dikendalikan. Perubahan tekanan dapat menyebabkan terbentuknya atau terlepasnya gelembung ke udara[8].



2.1 Gambaran *spherical bubble* pada aliran yang tak terhingga [8]

Ukuran bubble dapat dipengaruhi oleh adanya perubahan kecepatan utama aliran, semakin besar kecepatan aliran maka akan semakin kecil ukuran bubble [14]. Ketika gelembung udara besar kecepatan permukaan menjadi besar, *micro bubble* yang lebih kecil lebih lama tinggal di dalam air[2].

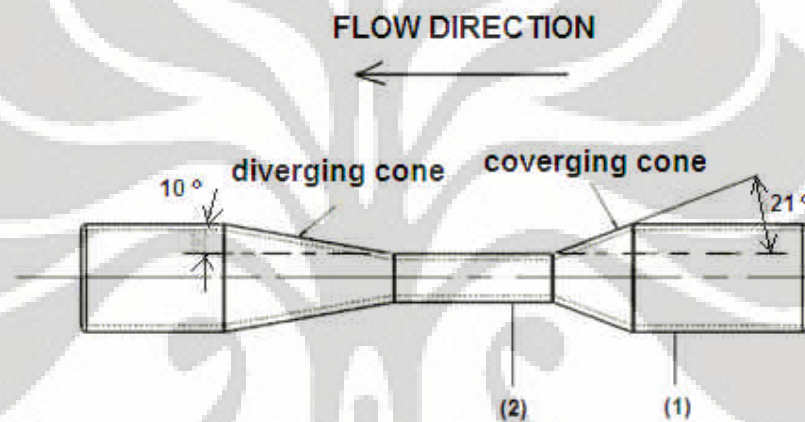
#### 2.2 MICROBUBBLE GENERATOR

Microbubble generator adalah alat yang dapat menghasilkan gelembung udara dalam aliran air dengan ukuran lebih kecil dari 200  $\mu\text{m}$ .



### 2.2.3 VENTURI TUBE

Pipa venturi dapat diartikan sebagai pipa pendek dengan bagian dalam yang mengecil. Pertama kali diteliti oleh ilmuwan asal Italia Giovanni Battista Venturi (1746–1822), namun yang pertama kali membuatnya adalah enjiner asal Amerika Serikat pada tahun 1888, Clemens Herschel (1842–1930) [9]. Pipa venturi Herschel atau sering disebut pipa venturi klasik sekarang ini jarang digunakan. Adapun karakteristiknya adalah bagian penyusutan dengan sudut  $21^\circ$  dan bagian yang pengembangan mengikuti sudut  $7-15^\circ$  [10].



Gambar 2.2 Herschel Venturi Tube

Fluida yang melalui pipa tersebut mengalami kenaikan kecepatan karena perbedaan luasan sesuai dengan persamaan kontinuitas. Laju aliran diperoleh dari persamaan kontinuitas, yang menyatakan bahwa massa dalam suatu sistem adalah tetap terhadap waktu. Jika fluida *incompressible* maka massa jenisnya konstan sehingga persamaannya menjadi laju aliran volumetrik ( $Q$ ) [11] :

$$Q_1 = Q_2 \quad (2.1)$$

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (2.2)$$

Persamaan Bernoulli menunjukkan bahwa perubahan kecepatan aliran berpengaruh pada besar kecilnya tekanan pada aliran tersebut.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gZ_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gZ_2 \quad (2.3)$$

$$P_2 = \left\{ \frac{\rho}{2} (V_1^2 - V_2^2) \right\} + \{ g (Z_1 - Z_2) \} + P_1 \quad (2.4)$$

dimana

v = kecepatan fluida sepanjang aliran

g = percepatan gravitasi

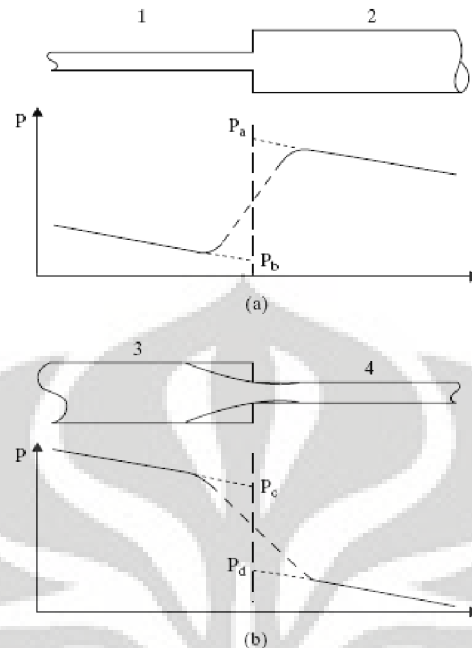
h = tinggi fluida

p = tekanan sepanjang aliran

$\rho$  = massa jenis fluida

Dari perumusan tersebut dapat diketahui bahwa mekanisme terbentuknya microbubble pada venturi karena fenomena meningkatnya kecepatan pada venturi akibat perbedaan luasan dan tegangan geser yang terjadi di sepanjang venturi. Venturi secara umum merupakan gabungan dari nosel dan difuser. Nosel adalah talang berbentuk konvergen yang di sebut sebagai conical contraction pada bagian sebelumnya. Fungsi utama nosel adalah mengkonversikan energy potensial menjadi energy kinetic fluida. Aliran pada nosel yang bergerak dengan tekanan tinggi mengalami penurunan. Pada setiap titik permukaan konvergen gradien tekanan searah arus, saat aliran berkembang melewati sisi keluar nosel lapisan batas akan terbentuk diantara aliran tanpa gesekan. Difuser, yang sebelumnya dinyatakan sebagai conical expansion, dilihat dari konstruksinya merupakan keterbalikan dari nosel. Fungsi utamanya adalah mengembalikan beda tekanan dengan cara mereduksi kecepatan alir pada energy kinetic. Udara yang diinjeksikan pada venturi, bagian konvergen akan mengalami perbedaan tekanan yang selanjutnya akan didispersikan melalui bagian ekspansi menjadi ukuran yang lebih kecil [12][13].

Tekanan pada venturi digambarkan pada bagan dibawah ini yang menunjukkan adanya Total Pressure drop (  $\Delta P$  ) sepanjang aliran pipa venturi.

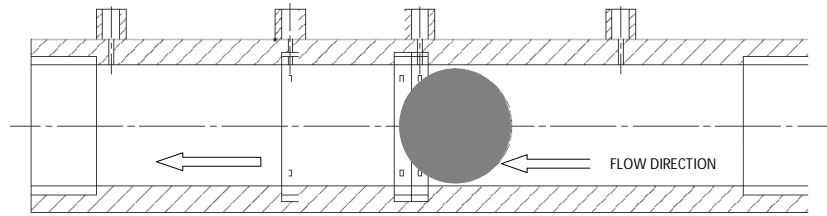


Gambar 2.3 Tekanan pada venturi

$\Delta P$  pada ekspansi dapat dituliskan merupakan  $P_b - P_a$ , sedangkan pada contraction adalah  $P_c - P_d$ [14].

#### 2.2.4 SPHERICAL BALL IN FLOWING WATER

Prinsip kerja dari *microbubble generator* dengan tipe *spherical ball* adalah keberadaan bola pada aliran fluida menyebabkan adanya perbedaan tekanan, hampir sama dengan prinsip venturi. Kedua jenis alat ini dapat dikategorikan menggunakan metode *obstruction method* (metode rintangan). Air yang mengalir pada pipa, sesuai dengan persamaan Bernoulli, kecepatannya akan meningkat pada titik tertinggi bola daripada kecepatan aliran pada bagian masuk. Hal ini akan menyebabkan tekanan pada daerah titik tertinggi bola akan lebih rendah dari tekanan atmosfer, sehingga udara dari luar akan terhisap ke dalam *microbubble generator*. Udara yang masuk tersebut akan pecah menjadi *microbubble*. Pada bagian ini diinjeksikan udara dari kompresor sehingga bubble yang terbentuk akan lebih kecil[3].



Gambar 2.4 Spherical Ball Microbubble generator

### 2.3 VOID FRACTION

Void fraction didefinisikan sebagai rasio ruang udara atau ruang kosong dengan volume total dari material, dalam hal ini air. [17]

Dapat dirumuskan seperti diawah ini

(2.5)

Void fraction merupakan parameter penting penting pada aliran dua fasa, pada microbubble generator void fraction, yang merupakan fungsi dari debit udara dan debit air mempengaruhi karakteristik dari bubble yang dihasilkan.

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

Penelitian microbubble generator dilakukan dengan menggunakan system water loop yang terdiri dari pompa, *flowmeter* air, test section, kolam pengamatan, dan *valve* yang terlihat pada gambar 3.1. Test section dipasang pada area aliran berkembang penuh karena pada daerah ini aliran sudah memiliki profil kecepatan yang seragam.

### 3.1 SISTEM PEMIPAAN

#### 3.1.1 Menentukan daerah *Entrance Length*

Pemipaan dirancang dengan terlebih dahulu menentukan area aliran berkembang penuh yang merupakan area setelah daerah masuk. Daerah masuk adalah area di dekat lokasi fluida memasuki pipa dengan profil kecepatan yang terjadi tidak seragam karena efek dari viskositas fluida. Setelah melewati daerah masuk, profil kecepatan fluida tidak berubah lagi. Panjang dari daerah masuk dapat ditentukan dengan perhitungan seperti dibawah ini. Perhitungan bilangan Reynolds, dari aliran dengan debit maksimum 100 lpm (debit aliran maksimum dari pompa).

$$\begin{aligned}
 &= \times \\
 0.000116667 &= (0.0125) \times \\
 &= 3.287 /
 \end{aligned}$$

Selanjutnya bilangan Reynolds dihitung dengan

$$= \text{-----} \tag{3.1}$$

Diketahui T = 25 °C maka ;

$$\rho \text{ air} = 996.95 \text{ kg /s}$$

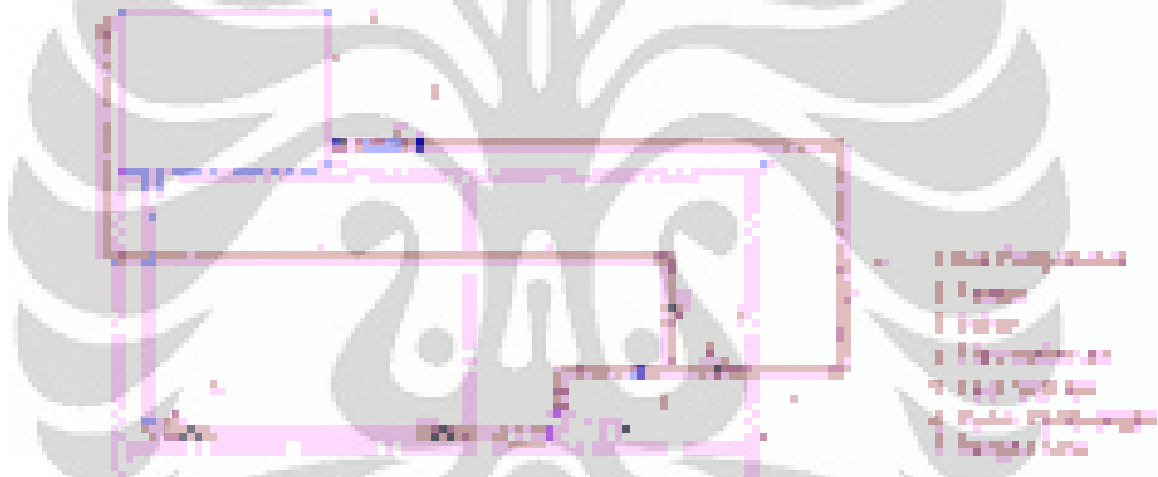
$$\mu \text{ air} = 0.00089975 \text{ N s / m}^2$$

$$= \frac{996.95 \text{ — } 3.287 \text{ — } 0.0254}{0.00089975 \text{ /}}$$

Untuk bilangan reynold turbulen, maka nilai *enterance length* dapat dihitung dengan perumusan

(3.2)

Dengan daerah masuk sebesar 0.75162 m maka aliran dari air dapat dirancang dengan gambaran seperti dibawah ini dengan panjang pipa keluaran dari pompa adalah 1 m.



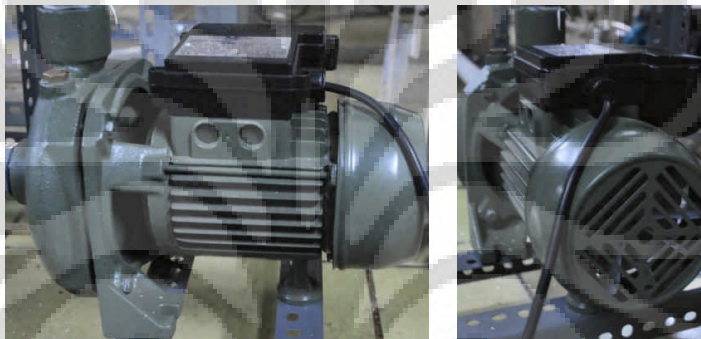
Gambar 3.1 Sistem pemipaan water loop

Air dari bak penampungan akan mengalir melalui pipa yang menuju pompa pada gambar 3.2 , dengan membuka penuh *valve*, maka air akan mengalir secara terus menerus dengan pipa berukuran 1". Dari pompa saluran pemipaan dibuat menjadi cabang 2 yang salah satunya menuju kolam pengamatan untuk membagi debit dari pompa bila debit yang diinginkan kecil. Saluran utama yaitu pemipaan adalah saluran menuju *test section* dengan melalui *flow meter* air, *valve* dibuka sesuai dengan debit yang diinginkan, dapat dilihat pada skala *flowmeter*. *Flowmeter* air merupakan jenis rotarometer yang dapat dilihat seperti gambar 3.4 dan 3.5. *Watermur* dipasang pada sisi sebelum dan sesudah *test section* untuk

mempermudah proses *re-assembly* dalam penelitian. Setelah melewati *test section* air masuk kolam pengamatan untuk selanjutnya mengalami proses yang sama. Apabila kolam pengamatan dikuras, maka *valve* menuju pompa ditutup penuh dan *valve* menuju pembuangan dibuka. Part dalam *water loop system* berikutnya akan dijelaskan satu persatu pada subbab selanjutnya.

### 3.1.2 POMPA

Part yang penting untuk dapat mengalirkan air menuju *test section* secara terus - menerus adalah pompa dengan gambaran seperti dibawah ini.



Gambar 3.2 Tampak depan dan tampak samping pompa air

Pompa dengan panjang total 240 mm lebar 140 mm dan tinggi 120 mm digunakan untuk mengalirkan air dengan spesifikasi seperti di bawah ini:

- Merk : MC Pump
- Kapasitas maksimum : 100 liter/menit
- *Total head* : 22,5 meter
- *Connection size* : 1" x 1"
- *Output* : 175 watt
- *Input* : 220V/50HZ/1PH
- RPM : 2900

### 3.1.3 FLOWMETER AIR

*Flowmeter* adalah alat yang digunakan untuk mengukur debit fluida. *Flowmeter* air yang digunakan untuk *test section* venturi adalah *flowmeter* pada gambar 3.3 dengan ketelitian 0,1 lpm karena venturi membutuhkan debit air yang lebih kecil daripada tipe *spherical ball*.

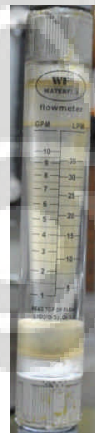


Gambar 3.3 Flowmeter Air untuk venturi

Flow meter ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- Merk : WEIKE.
- Kemampuan ukur : 0,3 liter/menit – 11 liter/menit.
- Ketelitian : 0,1 liter/menit.

Untuk mengukur debit air pada penelitian *spherical ball* digunakan *flowmeter* dengan spesifikasi sebagai berikut :



Gambar 3.4 *Flowmeter* Air untuk spherical ball

Untuk mengukur debit air pada penelitian *spherical ball* digunakan *flowmeter* dengan spesifikasi sebagai berikut :

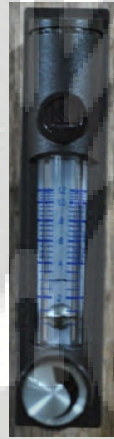


- Merk : WF (WATERFLO).
- Kemampuan ukur : 5 liter/menit – 35 liter/menit.
- Ketelitian : 2,5 liter/menit.

### 3.1.4 FLOWMETER UDARA

Untuk mengatur debit udara digunakan *flowmeter* dengan spesifikasi sebagai berikut :

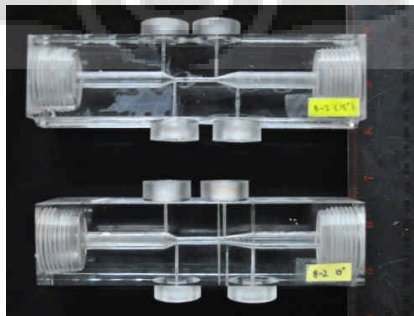
- Merk : Key Instrument's
- Model : MR300 Series Flowmeter
- Range : 0,1 – 1,2 liter/menit
- Ketelitian : 0,05 liter/menit



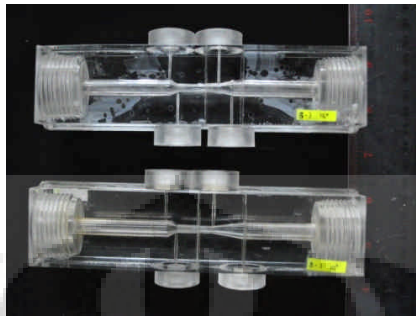
Gambar 3.5 *Flowmeter* untuk udara

### 3.2 TEST SECTION

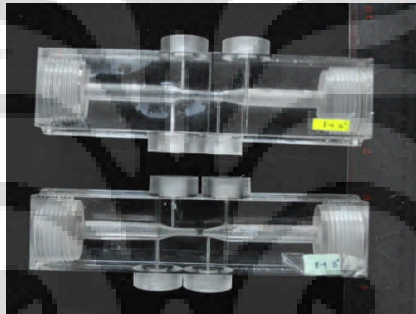
Penelitian ini menggunakan *test section* berbentuk venturi seperti terlihat di gambar 3.7 sampai dengan gambar 3.10. Gambar teknik dari *test section* ini dapat dilihat pada lampiran.



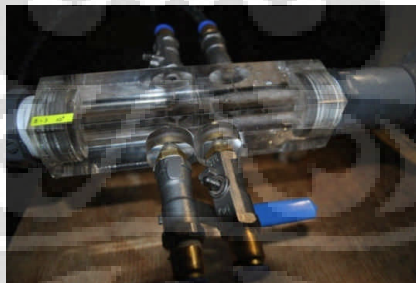
Gambar 3.6 Venturi Microbubble Generator  $D_o = 8\text{mm}$ ,  $D_1 = 2\text{mm}$



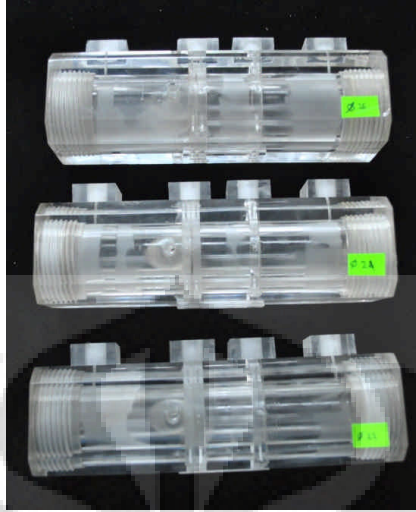
Gambar 3.7 Venturi Microbubble Generator  $D_o = 8\text{ mm}$ ,  $D_1 = 3\text{mm}$



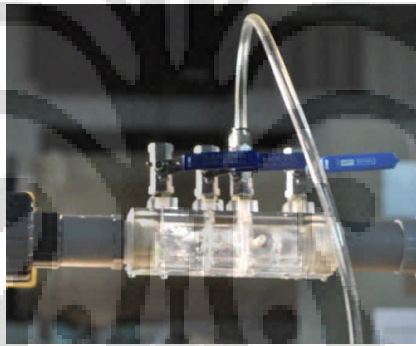
Gambar 3.8 Venturi Microbubble Generator  $D_o = 8\text{ mm}$ ,  $D_1 = 4\text{mm}$



Gambar 3.9 Assembly test section veturi



Gambar 3.10 Spherical Ball Microbubble Generator



Gambar 3.11 Assembly test section

### 3.3 PENGAMATAN

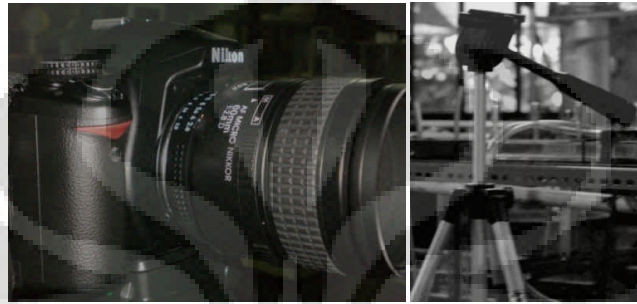
#### 3.3.1 Kolam Pengamatan



Gambar 3.12 Kolam Pengamatan

Kolam pengamatan terbuat dari bahan acrylic 8 mm dengan panjang 600mm lebar 300mm dan tinggi 400mm. Bahan Acrylic dipilih karena permukaannya yang bening sehingga dapat memudahkan dalam melakukan pengamatan fenomena aliran.

### 3.3.2 Kamera Dan Tripod

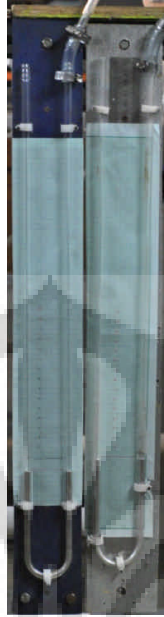


Gambar 3.13 Kamera dan tripod

Kamera yang digunakan adalah kamera Nikon d3000 dengan kemampuan maksimum 10 MP. Lensa yang digunakan adalah lensa micro agar gambar semakin jelas. Gambar yang jelas dapat mempermudah pengolahan data gambar. Tripod digunakan untuk membuat kamera lebih steady dalam pengambilan gambar.

### 3.3.3 Manometer

Alat yang digunakan untuk mengetahui tekanan pada bagian venturi yang menghisap udara luar atau tekanan dalam venturi lebih kecil dari tekanan atmosfer adalah manometer air dan manometer raksa dengan geometri U. Skala satuan dari manometer ditentukan dengan menggunakan milimeter blok yang dipasang pada dinding manometer. Pemilihan manometer yang digunakan disesuaikan dengan tekanan yang akan diukur. Tabung manometer terbuat dari kaca dengan diameter 6mm dan tinggi keseluruhan manometer 600 mm. Salah satu lubang manometer akan terbuka setara dengan tekanan atmosfer dan lubang satunya akan dipasangkan ke titik yang akan diukur tekanannya. Perbedaan ketinggian akan terlihat pada fluida dalam manometer, bisa menunjukkan skala positif atau negatif, tergantung dari daerah tersebut tekanannya lebih tinggi atau lebih rendah dari tekanan atmosfer.



Gambar 3.14 Manometer Raksa

### 3.3.4 Pressure Gauge

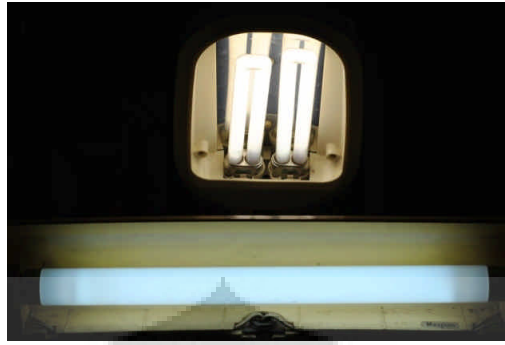


Gambar 3.15 Pressure gauge

Pressure gauge dalam penelitian ini digunakan untuk mengukur tekanan yang lebih besar dari tekanan atmosfer dan tidak dapat diukur dengan manometer. Mengingat terbatasnya kemampuan manometer untuk membaca tekanan yang tinggi karena terbatasnya geometri manometer itu sendiri. Pressure gauge yang digunakan berskala 0 – 2.5 kgf/cm<sup>2</sup> dengan tingkat akurasi 0.05 kgf/cm<sup>2</sup>.

### 3.3.5 Lampu Penerangan

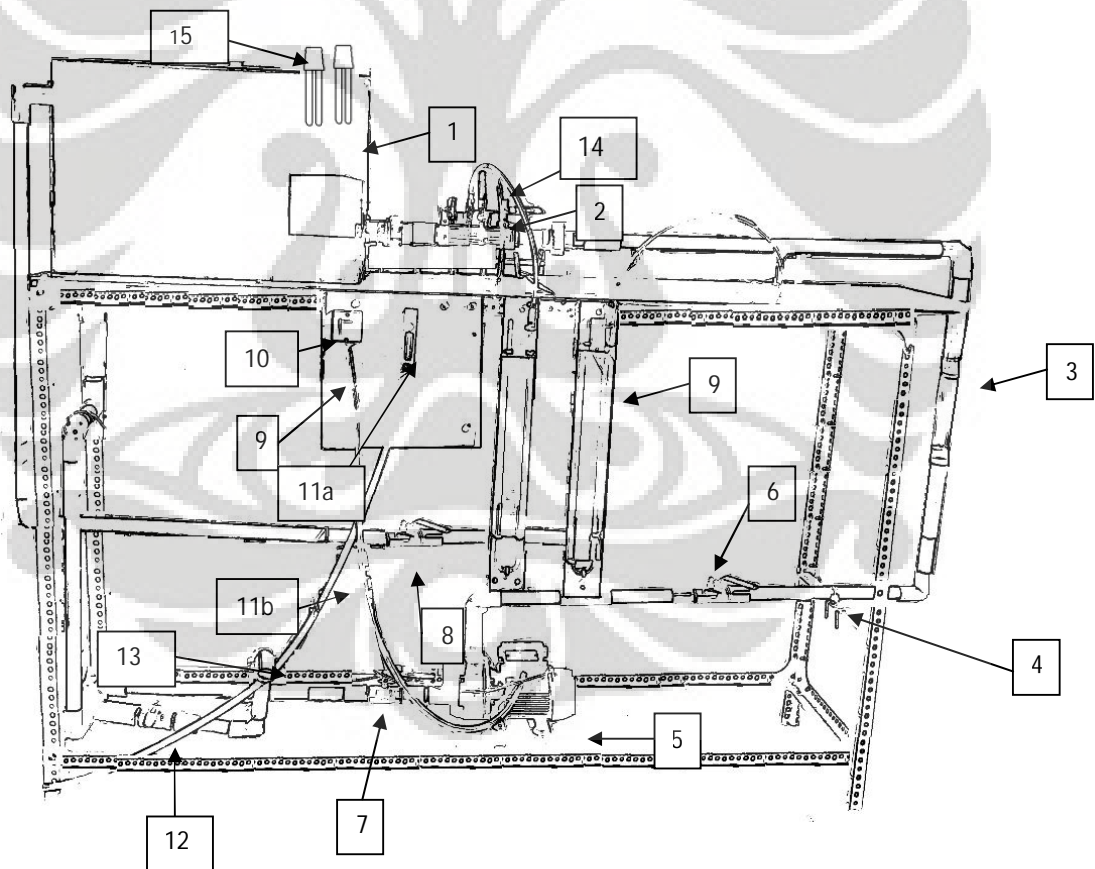
Pencahayaan dengan lampu diberikan pada kolam pengamatan untuk mendapatkan visualisasi dari microbubble dengan hasil yang maksimal. Adapun pencahayaan dilakukan dengan menggunakan 2 buah lampu PL 9 watt dan 1 buah lampu TL 10 watt.



Gambar 3.16 Lampu Penerangan

### 3.4 SKEMATIK ASSEMBLY PERALATAN

Rancang bangun dari peralatan yang digunakan dapat rangkai sesuai dengan gambar dibawah ini. Dimana lampu diletakkan dibagian belakang kolam pengamatan dan kamera serta tripod dibagian depan kolam pengamatan.



Gambar 3.17 Skematik alat

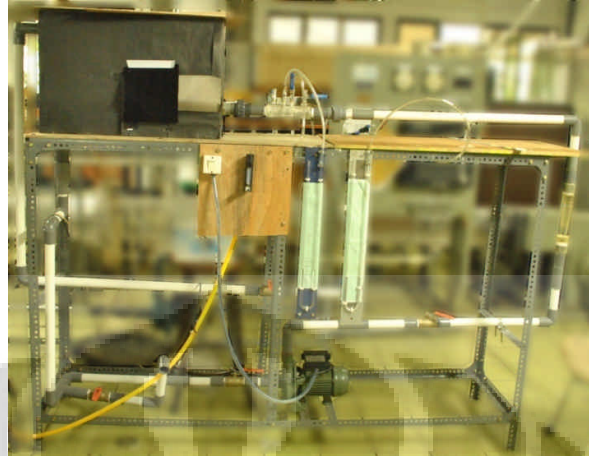
#### Keterangan

1. Kolam pengamatan
2. *Test section*
3. *Flowmeter* air
4. *Clamp* pipa
5. Pompa
6. *Valve* Pengatur debit air
7. *Valve* menuju pompa
8. *Valve* menuju kolam
9. *Control Panel*
10. Saklar pompa
- 11a. *Flowmeter* udara
- 11b. Selang menuju kompresor
12. *Valve* menuju pembuangan
13. Pipa keluaran
14. *Pressure gauge*
15. Lampu penerangan

### **3.5 PENGAMBILAN DATA**

Proses pengambilan data dilakukan untuk mengetahui fenomena dari *mirobubble generator*. Parameter geometri, debit udara dan debit air akan divariasikan dalam penelitian. Untuk mengetahui karakter jumlah dan banyaknya bubble maka dilakukan proses pengambilan data visual berupa foto pada kolam pengamatan. Peralatan dipasang sesuai dengan gambar skematik pada gambar 3.19.

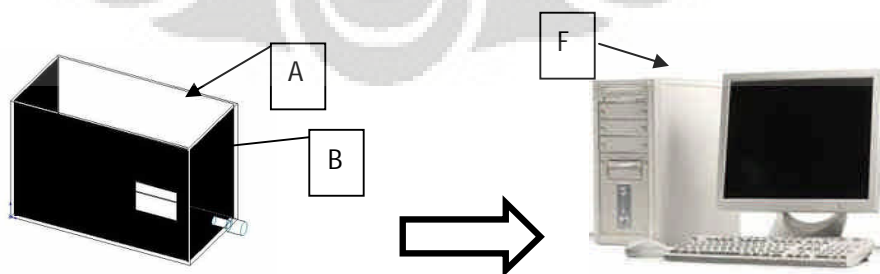




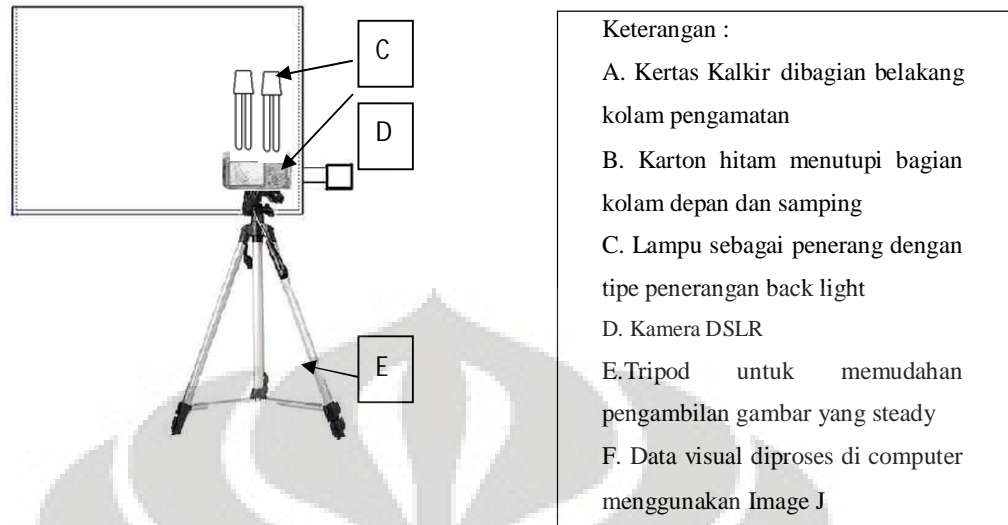
Gambar 3.18 Foto assembly peralatan

### 3.5.1 Pengambilan Data Visual

Bagian pengamatan menjadi hal yang penting diperhatikan dalam pengambilan data visual. Pada bagian kolom pengamatan, karton hitam dipasang pada segala sisi kecuali bagian belakang dan sisi dimana akan diambil gambar. Hal ini dimaksudkan agar cahaya hanya akan diterima dari bagian belakang (*back light*). Dengan sistem penerangan *back light*, diharapkan *bubble* dapat semakin jelas dan mudah untuk diolah dalam *image processing*. Bagian belakang kolom pengamatan diberikan kertas kalkir untuk membuat cahaya lampu yang diletakkan di bagian belakang mengalami difuse sehingga tidak ada efek pemantulan cahaya. Kamera diletakkan dibagian depan kolom pengamatan dengan diberikan tripod pada untuk menjaga kamera lebih steady. Selanjutnya gambar yang dihasilkan akan diolah dengan bantuan *software* pada komputer. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.20.







Gambar 3.19 Metode Pengambilan gambar

### 3.5.2 Pengambilan data pada Venturi

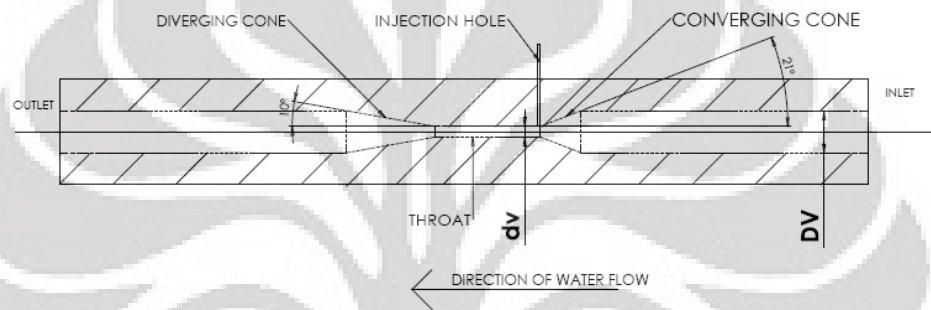
Pengambilan data pada microbubble generator tipe Venturi dilakukan dengan bervariasi parameter-parameter seperti terlihat pada diagram dibawah ini :



Gambar 3.20 Diagram variasi parameter pada *Venturi tube*

*Venturi tube microbubble generator* dirancang memiliki diameter luar (DV) dibuat konstan, yaitu 8mm. Diameter dalam dari venturi (dv) antara lain 2m, 3mm dan 4 mm, sehingga perbandingan  $dv/DV$  menjadi 0.25, 0.375 dan 0.5. Venturi memiliki sudut *converging cone* dan *diverging cone*. Dalam penelitian ini

*converging cone* dibuat konstan  $20^\circ$  dan *diverging cone* dibuat variasi  $10^\circ$  dan  $15^\circ$ . Setiap variasi geometri venturi tersebut masing-masing akan diuji dengan menggunakan debit air 7lpm, 8lpm, 9lpm, dan 10lpm. Pada debit air 7lpm diberikan variasi debit udara 0.1 lpm, 0.2lpm, 0,3 lpm. Hal ini juga diberlakukan untuk debit air yang lainnya, sehingga setiap debit air dilakukan variasi debit udara, dan setiap geometri memiliki *void number* yang dapat divariasikan. Dibawah ini adalah gambaran dari geometri venturi yang dibuat variasi untuk mengetahui karakteristiknya.



Gambar 3.21 Gambar parameter geometri yang divariasikan pada venturi.

Adapun tahapan-tahapan dalam persiapan dan pengambilan data visual dan tekanan dari *microbubble generator* tipe venturi adalah sebagai berikut :

- 1) Memasang *test section*, *valve*, dan perlengkapan *microbubble generator*.
- 2) Mengisi bak penampung dengan air hingga mencapai ketinggian 250mm.
- 3) Menyalakan pompa, mengatur debit air yang dapat dilihat dari *flowmeter* bervariasi antara 7 lpm, 8 lpm, 9 lpm dan 10 lpm.
- 4) Menyiapkan kompresor untuk udara bertekanan, dengan variasi debit udara yang dapat dilihat di flow meter udara sebesar 0.1 lpm, 0.2 lpm, 0.3 lpm.
- 5) Menyalakan lampu sebagai penerang, menyiapkan kamera untuk mendapatkan pengambilan gambar dan pencatat tekanan.
- 6) Memastikan alat bekerja dengan stabil.
- 7) Mengambil foto dengan kamera dan mengambil data tekanan dari tiap titik selain titik injeksi, dengan debit air 7 lpm dan debit udara 0.1 lpm.
- 8) Pengambilan data foto dilakukan sebanyak 30 kali untuk satu kondisi.

- 9) Melakukan langkah 1- 6 dengan mengubah debit udara menjadi 0.2 lpm dan 0.3 lpm.
- 10) Mengambil data foto dan tekanan dengan variasi debit air lainnya, 8 lpm, 9 lpm, dan 10 lpm.
- 11) Melakukan penelitian yang sama untuk setiap venturi.
- 12) Untuk setiap pengambilan data visual kolam pengamatan harus dikuras untuk memastikan tidak ada partikel pengotor yang dapat mengganggu karakteristik *bubble* dan hasil visual *bubble*.

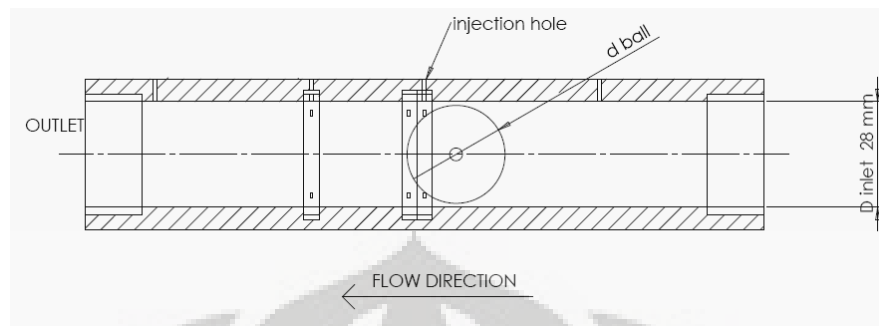
### 3.5.3 Pengambilan Data pada Spherical Ball In Flowing Water Tube

Pengambilan data pada microbubble generator tipe *Spherical ball in a flowing water tube* dilakukan dengan bervariasi parameter-parameter seperti terlihat pada diagram dibawah ini :



Gambar 3.22 Diagram variasi parameter pada *Spherical ball in flowing water tube*

*Spherical ball in a flowing water tube microbubble generator* dirancang memiliki diameter inlet konstan, yaitu 28 mm. Diameter bola bervariasi 22mm, 24mm dan 26 mm. Setiap variasi geometri *spherical ball* tersebut masing-masing akan diuji dengan menggunakan debit air 25 lpm, 30 lpm, dan 35 lpm. Pada debit air 25 lpm diberikan variasi debit udara 0.4 lpm, 0.6 lpm, 0.8 lpm. Hal ini juga diberlakukan untuk debit air yang lainnya. Masing-masing variasi debit air diberikan variasi debit udara sehingga setiap geometri memiliki void number yang dapat divariasikan. Dibawah ini adalah gambaran dari geometri *spherical ball* yang dibuat variasi untuk mengetahui karakteristiknya.



Gambar 3.23 Diagram variasi parameter pada *spherical ball*

Adapun tahapan-tahapan dalam persiapan dan pengambilan data visual dan data tekanan dari microbubble generator tipe *spherical ball in a flowing water tube* adalah sebagai berikut :

- 1) Memasang *test section*, *valve*, dan perlengkapan *microbubble generator*.
- 2) Mengisi bak penampung dengan air hingga mencapai ketinggian 250mm.
- 3) Menyalakan pompa, mengatur debit air yang dapat dilihat dari flow meter bervariasi antara 25 lpm, 30 lpm dan 35 lpm.
- 4) Menyiapkan kompresor untuk udara bertekanan, dengan variasi debit udara yang dilihat di flowmeter udara sebesar 0.4 lpm, 0.6 lpm, 0.8 lpm.
- 5) Menyalakan lampu sebagai penerang, menyiapkan kamera untuk mendapatkan pengambilan gambar.
- 6) Memastikan alat bekerja dengan stabil.
- 7) Mengambil foto dengan kamera dan mengambil data tekanan dari tiap titik selain titik injeksi pada debit air 25 lpm dan debit udara 0.4 lpm.
- 8) Pengambilan data foto dilakukan sebanyak 30 kali untuk satu kondisi.
- 9) Melakukan langkah 1- 6 dengan mengubah debit udara menjadi 0.6 lpm dan 0.8 lpm.
- 10) Mengambil data foto dan tekanan dengan variasi debit air lainnya, 30 lpm, 35lpm.
- 11) Melakukan penelitian yang sama untuk bola dengan variasi diameter lain.
- 12) Untuk setiap pengambilan data visual kolam pengamatan harus dikuras untuk memastikan tidak ada partikel pengotor yang dapat mengganggu karakteristik *bubble* dan hasil visual *bubble*.

## BAB 4

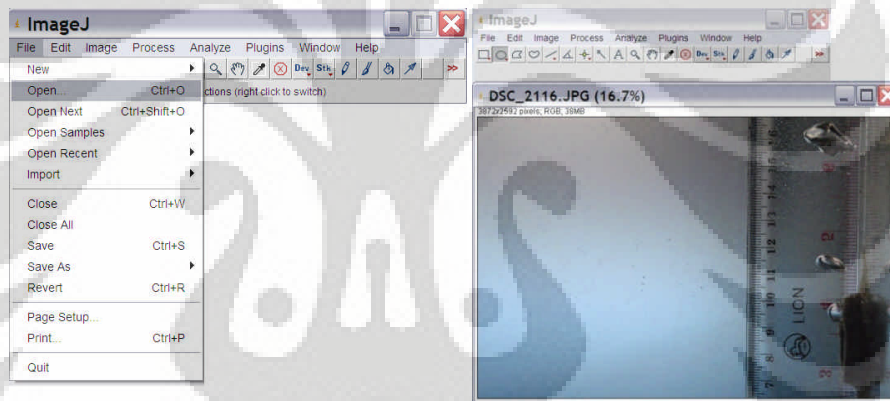
### PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

#### 4.1 PENGOLAHAN DATA VISUAL

Data visual didapatkan dengan melakukan *running* pada alat untuk mengambil foto pada kondisi tertentu, yang selanjutnya akan diolah dengan *image processing* menggunakan software *Image J*. Hasil dari *image processing* adalah diameter *bubble* dan jumlah *bubble* dengan langkah - langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- Membuka file Gambar ( *File – Open* )

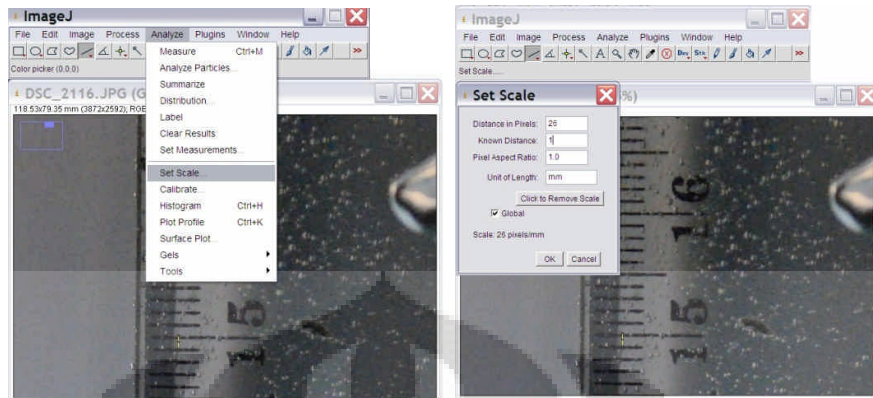
Aktifkan *software Image J*, kemudian klik *File – Open* untuk membuka foto yang akan diproses.



Gambar 4.1 Langkah membuka file gambar

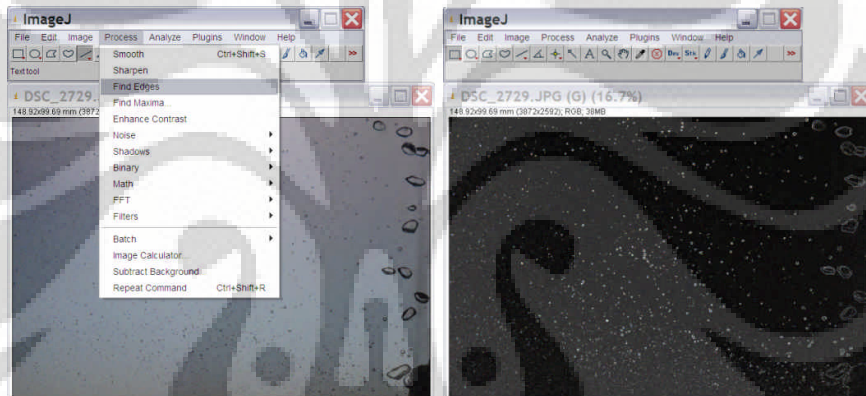
- Menentukan skala ( *Analysis – Set Scale* )

Langkah ini bertujuan untuk menentukan skala pada gambar dibandingkan dengan pixel. Skala yang kita gunakan adalah skala dari penggaris dengan ketelitian 1 mm. Dengan mengklik *analyze – set scale*, maka akan muncul kotak perintah seperti gambar 4.2. *Distance in pixel* didapatkan dengan membuat garis lurus dari perintah *line* sebesar 1 mm pada penggaris. *Knowing distance* 1 dengan *unit length* mm. sehingga didapatkan 1 mm = 26 pixels pada gambar. Skala dibuat default dengan melakukan *check list* pada bagian global.



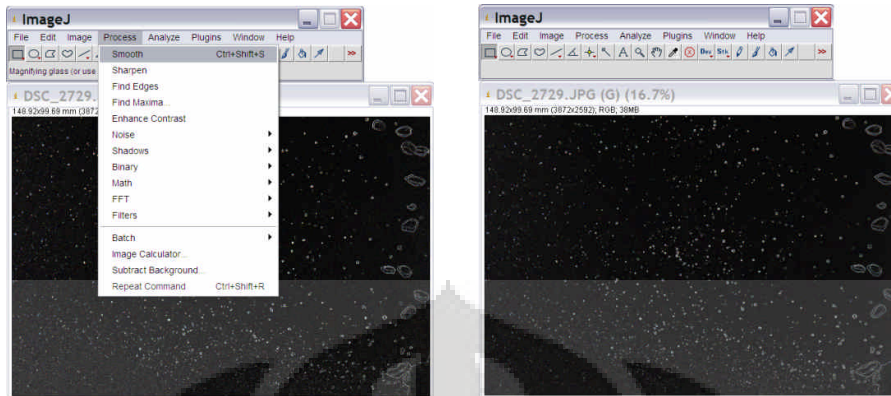
Gambar 4.2 Menentukan skala

- Memperjelas gambar *microbubble*

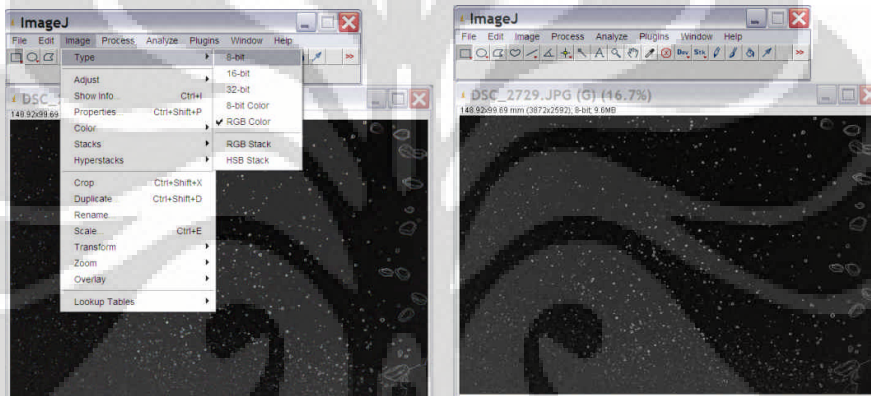
Gambar 4.3 Memperjelas gambar. *Process - Find Edges*

Untuk memperjelas gambar *microbubble* dilakukan proses *find edges* yang berfungsi untuk mempertajam bagian tepi dari *microbubble*. Setelah proses *find edges*, proses selanjutnya adalah *Process – Smooth* yang berfungsi untuk memperhalus hasil *edges*. Gambar dibuat *gray scale* dengan mengubah tipe gambar menjadi 8 bit (*Image – Type – 8 bit*).





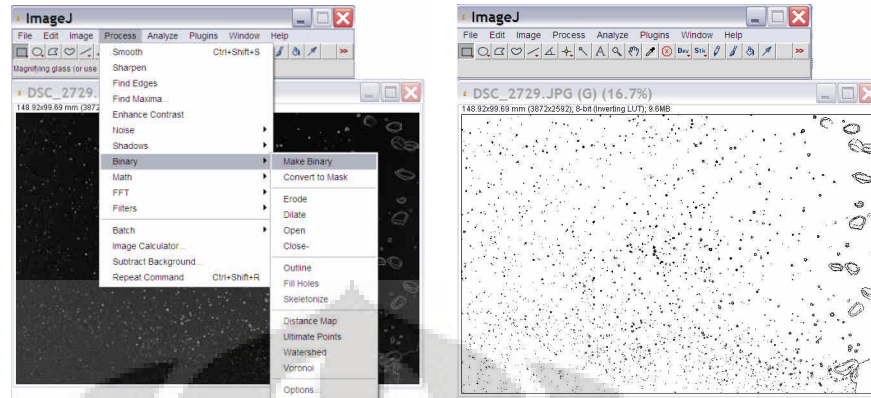
Gambar 4.4 Image J : *Process – Smooth*



Gambar 4.5 Image J : Mengubah menjadi 8 bit, *Image – Type – 8 bit*

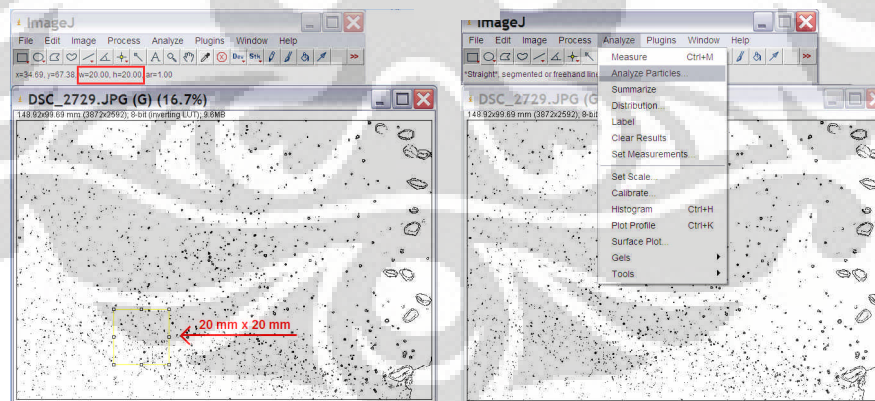
- *Binary*

Proses *binary* merupakan proses yang disebut juga *automatic threshold*. *Background* gambar menjadi berwarna putih dan *bubble* menjadi hitam, sehingga pengukuran dapat dilakukan.



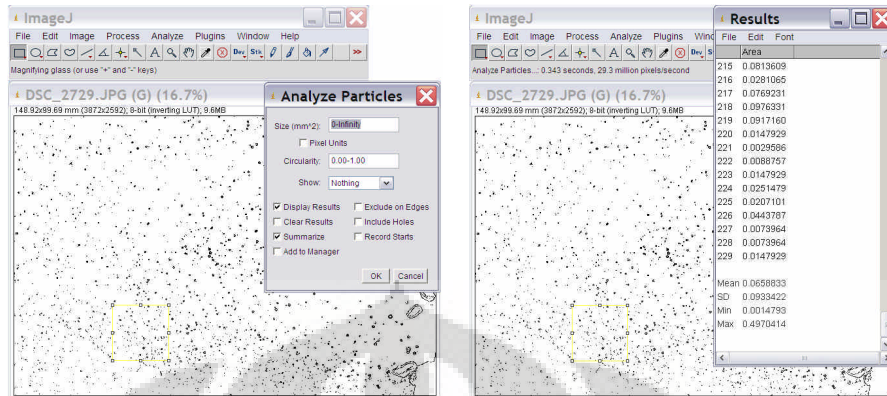
Gambar 4.6 Image J : *Process – Binary*

- Proses pengukuran  
 Sebelum dapat diukur maka gambar tersebut dahulu diambil sampel dengan membuat persegi 20mm x 20mm. Hal ini dimaksudkan karena pengolahan data dengan menggunakan keseluruhan data dalam 1 gambar tidak memungkinkan. Alasan pertama adalah terdapat banyak noise di beberapa tempat seperti di pinggir-pinggir gambar dan karena jumlah data yang terlalu banyak bila keseluruhan bagian gambar diolah. Langkah – langkahnya adalah *Rectangle – 20 mmx 20 mm* kemudian *Analyze – analyze particle*.



Gambar 4.7 Analisa partikel.





Gambar 4.8 Hasil analisa

Hasil yang diperoleh dari software Image J adalah area dan jumlah *bubble* dalam daerah 20 x20 mm. Hasil ini kemudian diolah menggunakan *Microsoft Excel* 2007 untuk mendapatkan informasi yang diperlukan. Diantaranya nilai rata-rata dari setiap data, diameter terkecil dan terbesar dari *bubble* yang dihasilkan.

## 4.2 PENGOLAHAN DATA VENTURI

### 4.2.1 Bilangan Reynolds

Data gambar dan data tekanan dari venturi selanjutnya akan diolah untuk mengetahui hasil penelitian. Parameter yang akan dihitung adalah bilangan Reynolds, *void fraction*, *pressure drop* dan populasi *bubble*. Dari data yang ada, maka perhitungan bilangan Reynolds dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :  
Langkah 1 Merubah nilai debit air dalam lpm menjadi  $m^3/s$  ( 1 lpm = 60000  $m^3/s$ ).  
Langkah 2 Mencari nilai V

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad D \text{ pipa} &= 1 \text{ inci} = 0.0254 \text{ m} \\ \text{Pada} \quad T &= 25 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{Nilai} \quad \rho \text{ air} &= 996.95 \text{ kg /s} \\ &\mu \text{ air} = 0.00089975 \text{ N s / m}^2 \end{aligned}$$

Persamaan Kontinuitas

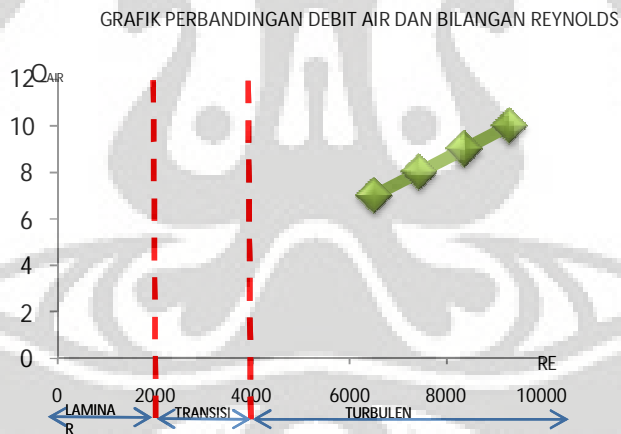
$$\begin{aligned} &= \times \\ 0.000116667 \text{ m}^3/\text{s} &= \pi (0.0127 \text{ m})^2 \times V \\ &= 0.230151975 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Langkah 3 Menghitung nilai bilangan Reynolds

Langkah ini diulangi untuk variasi debit air yang lain, sehingga didapatkan tabel dan grafik seperti di bawah ini:

Tabel 4.1 Tabel Bilangan Reynolds untuk masing-masing debit air pada venturi

Q (lpm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	r pipa (m)	V (m/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ (N s / m <sup>2</sup> )	Re
7	0.000116667	0.0127	0.230152	996.95	0.00089975	6477.388
8	0.000133333	0.0127	0.263031	996.95	0.00089975	7402.73
9	0.00015	0.0127	0.29591	996.95	0.00089975	8328.071
10	0.000166667	0.0127	0.328789	996.95	0.00089975	9253.412



Gambar 4.9 Grafik perbandingan Debit air dengan Re pada Venturi

Dari grafik perbandingan debit air dan bilangan Reynolds, dapat dilihat aliran menunjukkan kisaran bilangan Reynolds 6000 – 9000, seluruh nilai bilangan Reynolds dalam range turbulen. Kenaikan debit air menyebabkan kenaikan kecepatan aliran sehingga secara linear juga menyebabkan kenaikan bilangan Reynolds.

#### 4.2.2 Void Fraction

Selain bilangan Reynolds, *void fraction* adalah parameter penting untuk diketahui dan dapat dihitung dengan rumusan seperti dibawah ini :

$$\alpha \equiv \frac{Q_u}{Q_u + Q_a}$$

Dimana:  $\alpha$  = *void fraction*

$Q_u$  = Debit udara ( m<sup>3</sup>/s )

$Q_a$  = Debit air ( m<sup>3</sup>/s )

Hasil perhitungan untuk void fraction dinyatakan dalam tabel dibawah ini:

Tabel 4.2 Void Fraction pada venturi

No	DEBIT AIR	DEBIT UDARA	VOID FRACTION (%)
1	0.000116667	0.000001667	1.408450704
	0.000116667	0.000003333	2.777777778
	0.000116667	0.000005000	4.109589041
2	0.000133333	0.000001667	1.234567901
	0.000133333	0.000003333	2.439024390
	0.000133333	0.000005000	3.614457831
3	0.000150000	0.000001667	1.098901099
	0.000150000	0.000003333	2.173913043
	0.000150000	0.000005000	3.225806452
4	0.000166667	0.000001667	0.990099010
	0.000166667	0.000003333	1.960784314
	0.000166667	0.000005000	2.912621359

#### 4.2.3 Tekanan pada Venturi Tube

Data tekanan didapatkan dengan menggunakan manometer dan pressure gauge, sesuai dengan karakteristik tekanan yang akan diukur.

A. Pada Venturi dengan DV = 8mm; dv = 2mm; sudut diverging cone 10°.

Dari data yang ada maka dilakukan konversi satuan ke satuan SI, didapatkan dalam tabel seperti dibawah ini:

Tabel 4.3 Tekanan pada venturi dengan dv = 2mm dan  $\alpha_d = 10^\circ$

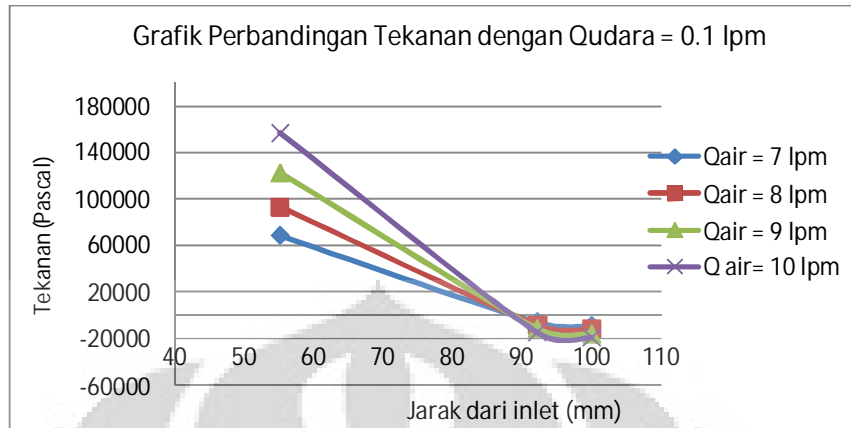
No	Q air (lpm)	Q air(m <sup>3</sup> /s)	Q udara (lpm)	Q udara (m <sup>3</sup> /s)	P1 (kgf/cm <sup>2</sup> )	P1 (bar)
----	----------------	--------------------------	------------------	--------------------------------	------------------------------	----------

1	7	0.000116667	0.1	1.66667E-06	0.7	0.6864655
	7	0.000116667	0.2	3.33333E-06	0.67	0.65704555
	7	0.000116667	0.3	0.000005	0.5	0.4903325
2	8	0.000133333	0.1	1.66667E-06	0.95	0.93163175
	8	0.000133333	0.2	3.33333E-06	0.97	0.95124505
	8	0.000133333	0.3	0.000005	1	0.980665
3	9	0.00015	0.1	1.66667E-06	1.25	1.22583125
	9	0.00015	0.2	3.33333E-06	1.28	1.2552512
	9	0.00015	0.3	0.000005	1.29	1.26505785
4	10	0.000166667	0.1	1.66667E-06	1.6	1.569064
	10	0.000166667	0.2	3.33333E-06	1.58	1.5494507
	10	0.000166667	0.3	0.000005	1.55	1.52003075

No	P2	P3 (mmHg)	P3 abs (Pascal)	P4 (mmHg)	P4 abs (Pascal)
1	inject	46	-6132.812	69	-9199.218
	inject	45	-5999.49	67	-8932.574
	inject	43.5	-5799.507	66	-8799.252
2	inject	64	-8532.608	91	-12132.302
	inject	62.5	-8332.625	90	-11998.98
	inject	60	-7999.32	89	-11865.658
3	inject	86	-11465.692	121	-16131.962
	inject	79	-10532.438	120	-15998.64
	inject	76	-10132.472	119	-15865.318
4	inject	111	-14798.742	144	-19198.368
	inject	108.5	-14465.437	141	-18798.402
	inject	106	-14132.132	139	-18531.758

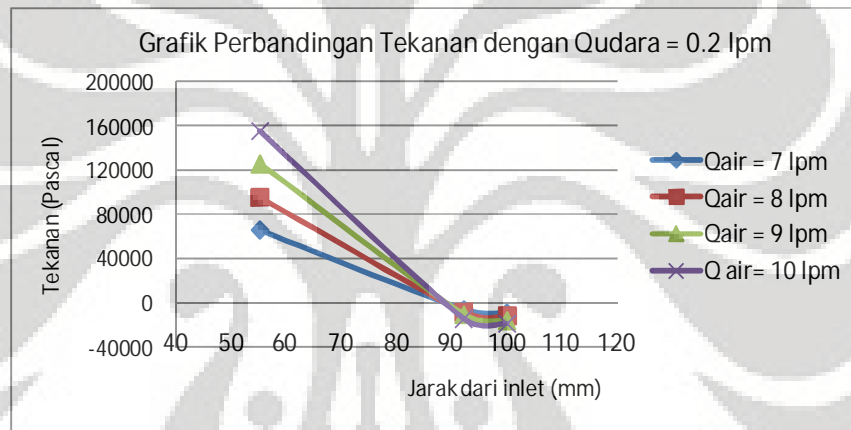
Dari data diatas maka hasilnya dapat di plot pada grafik dengan variasi debit udara sedangkan debit air konstan atau sebaliknya variasi debit air namun debit udara konstan. Pada grafik tekanan di titik 1 (P1) adalah titik dengan jarak terdekat dari inlet dan titik 4 adalah titik terjauh dari inlet :

- Perbandingan pada Q air = variable ; Q udara = 0.1 lpm



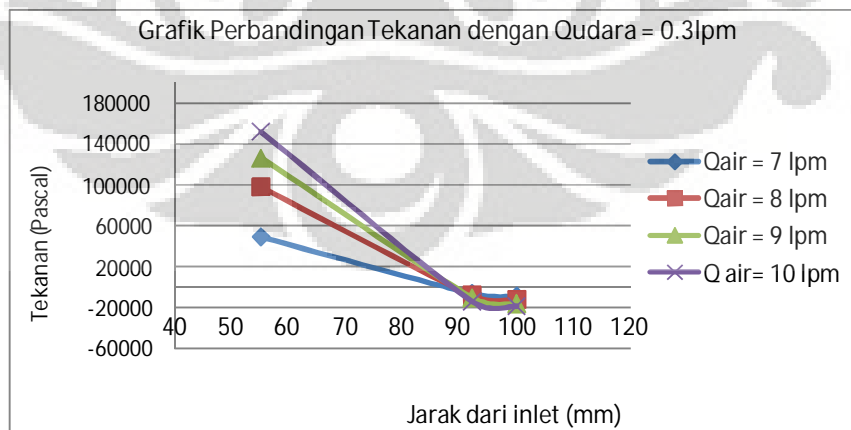
Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan dengan Q udara = 0.1 lpm

- Perbandingan pada Q air = variable ; Q udara = 0.2 lpm



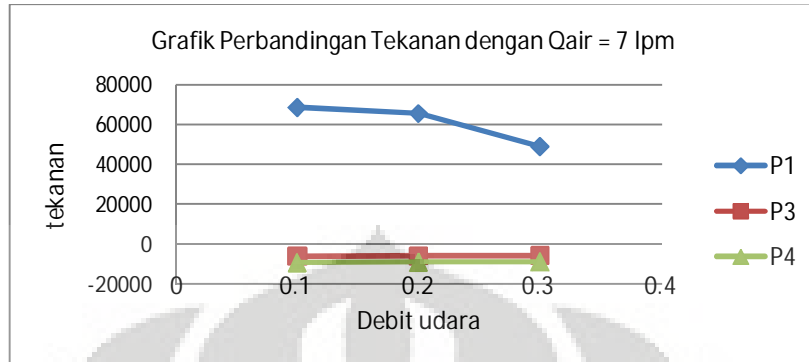
Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan dengan Q udara = 0.2 lpm

- Perbandingan pada Q air = variable ; Q udara = 0.3 lpm



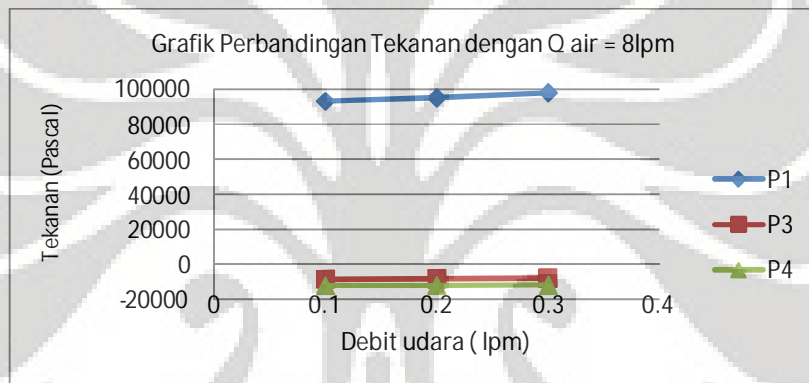
Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan dengan Q udara = 0.3 lpm

- Perbandingan pada  $Q_{\text{air}} = 7 \text{ lpm}$  ;  $Q_{\text{udara}} = \text{variable}$



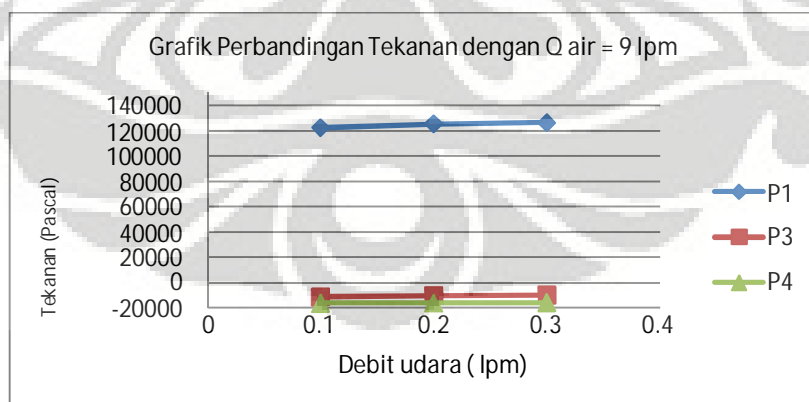
Gambar 4. 13 Grafik Pressure drop pada  $Q_{\text{air}} = 7 \text{ lpm}$

- Perbandingan pada  $Q_{\text{air}} = 8 \text{ lpm}$  ;  $Q_{\text{udara}} = \text{variable}$



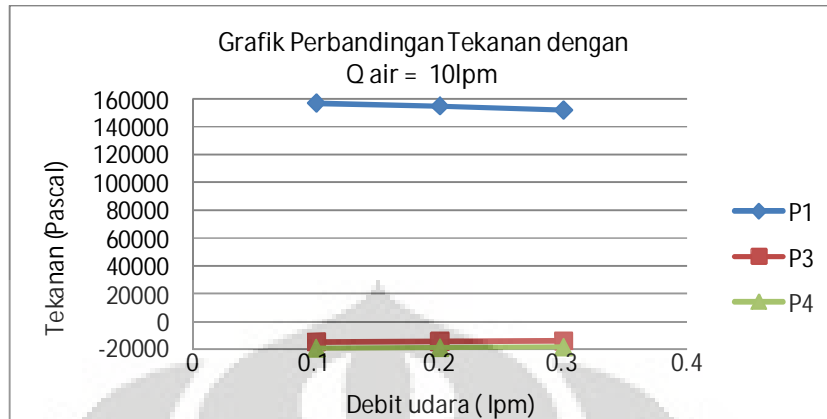
Gambar 4. 14 Grafik Pressure drop pada  $Q_{\text{air}} = 8 \text{ lpm}$

- Perbandingan pada  $Q_{\text{air}} = 9 \text{ lpm}$  ;  $Q_{\text{udara}} = \text{variable}$



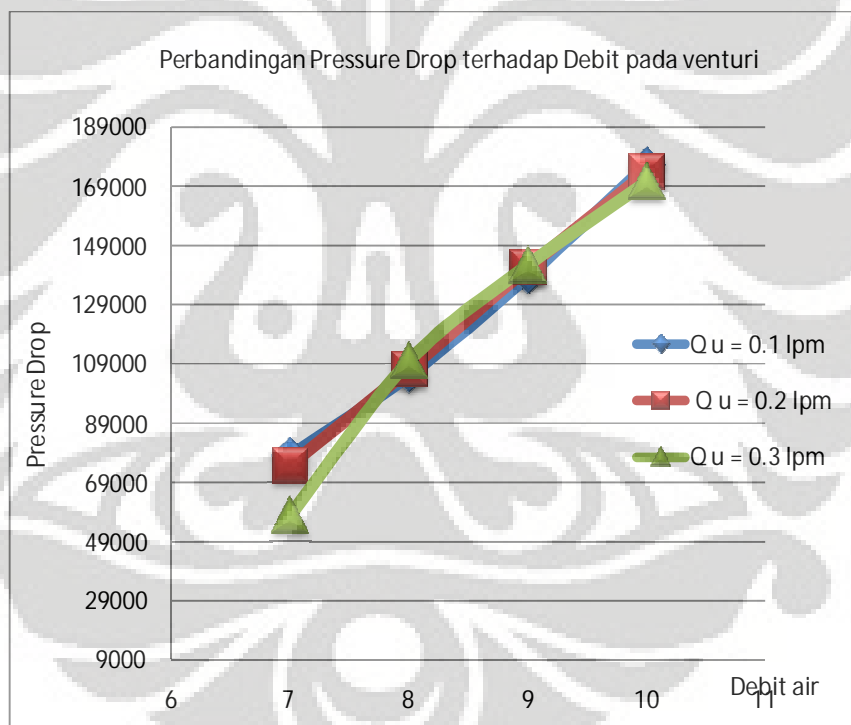
Gambar 4. 15 Grafik Pressure drop pada  $Q_{\text{air}} = 9 \text{ lpm}$

- Perbandingan pada  $Q_{\text{air}} = 10 \text{ lpm}$  ;  $Q_{\text{udara}} = \text{variable}$



Gambar 4. 16 Grafik Pressure drop pada Q air = 10 lpm

Maka grafik pressure drop terhadap debit air pada debit udara tertentu dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 17 Grafik Pressure drop pada venturi  $d_v = 2\text{mm}$  dan  $\alpha_d = 10^\circ$

*Microbubble generator* tipe venturi memiliki bentuk grafik yang hampir sama dengan beberapa tipe yang lain, maka grafik selanjutnya akan dipaparkan lebih jelas pada lampiran.

### 4.3 PENGOLAHAN DATA TEKANAN SPHERICAL BALL

#### 4.3.1 Bilangan Reynolds

Pada *microbubble generator* tipe spherical ball debit air pada pipa divariasikan menjadi 25lpm, 30lpm, 35lpm.

Langkah 1 Mengubah nilai debit dalam lpm menjadi  $m^3/s$  ( 1lpm = 60000  $m^3/s$ ).

Langkah 2 Mencari nilai V

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui} \quad D \text{ pipa} &= 1 \text{ inci} = 0.0254 \text{ m} \\
 \text{Pada} \quad T &= 25 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \text{Nilai} \quad \rho \text{ air} &= 996.95 \text{ kg /s} \\
 \mu \text{ air} &= 0.00089975 \text{ N s / m}^2 \\
 \text{Persamaan Kontinuitas} & \\
 &= \times \quad (1) \\
 0.000416667 \text{ m}^3/\text{s} &= \pi (0.0127 \text{ m})^2 \times V \\
 &= 0.822719 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Langkah 3 Menghitung nilai bilangan Reynolds

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\rho \times V \times D}{\mu} \\
 &= \frac{996.95 \times 0.822719 \times 0.0254}{0.00089975} \\
 &= 23154.58
 \end{aligned}$$

Langkah ini diulangi untuk variasi debit yang lain, sehingga didapatkan tabel dan grafik seperti di bawah ini:

Tabel 4.4 Tabel Bilangan Reynolds untuk pada spherical ball

Q (lpm)	Q ( $m^3/s$ )	r pipa (meter)	V (m/s)	$\rho$ (kg/s)	$\mu$ ( $N s / m^2$ )	Re
25	0.000416667	0.0127	0.822719	996.95	0.00089975	23154.58
30	0.0005	0.0127	0.987263	996.95	0.00089975	27785.5
35	0.000583333	0.0127	1.151807	996.95	0.00089975	32416.41





Gambar 4.18 Grafik perbandingan Debit air dengan bilangan Reynolds pada *Spherical ball*

Dari grafik diatas dapat dilihat seluruh nilai bilangan Reynolds menunjukkan kisaran 23000-32000 masuk untuk range turbulen. Kenaikan debit air menyebabkan kenaikan kecepatan aliran sehingga secara linear juga menyebabkan kenaikan bilangan Reynolds.

#### 4.3.2 Void Fraction

Selain bilangan Reynolds, *void fraction* adalah parameter penting untuk diketahui dan dapat dihitung dengan rumusan seperti dibawah ini :

Dimana:  $\alpha$  = void fraction

$Q_u$  = Debit udara ( $m^3/s$ )

$Q_a$  = Debit air ( $m^3/s$ )

Hasil perhitungan untuk void fraction dinyatakan dalam tabel dibawah ini:

Tabel 4.5 Void Fraction pada *Spherical Ball*

No	DEBIT AIR	DEBIT UDARA	VOID FRACTION (%)
1	0.000416667	0.000006667	1.574803150
	0.000416667	0.000010000	2.343750000
	0.000416667	0.000013333	3.100775194
2	0.000500000	0.000006667	1.315789474

	0.000500000	0.000010000	1.960784314
	0.000500000	0.000013333	2.597402597
3	0.000583333	0.000006667	1.129943503
	0.000583333	0.000010000	1.685393258
	0.000583333	0.000013333	2.234636872

### 4.3.3 Tekanan pada Spherical Ball

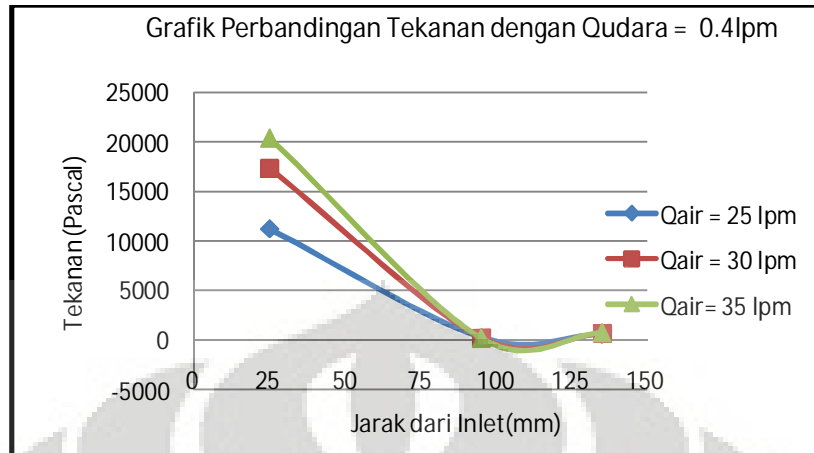
Tekanan masing-masing titik pada *Microbubble* Spherical Ball dengan diameter bola 22mm dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.6 Tabel tekanan pada *spherical ball*

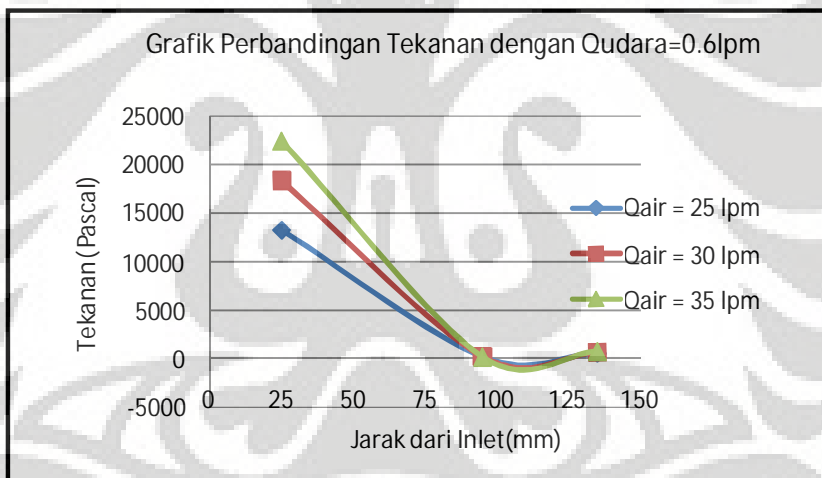
No	Q air (lpm)	Q air (m <sup>3</sup> /s)	Q u (lpm)	Q udara (m <sup>3</sup> /s)	P1 (kgf/cm <sup>2</sup> )	P1 (Pascal)
1	25	0.000416667	0.4	6.66667E-06	0.11	11216.87834
	25	0.000416667	0.6	0.00001	0.13	13256.31077
	25	0.000416667	0.8	1.33333E-05	0.15	15295.74319
2	30	0.0005	0.4	6.66667E-06	0.17	17335.17562
	30	0.0005	0.6	0.00001	0.18	18354.89183
	30	0.0005	0.8	1.33333E-05	0.19	19374.60805
3	35	0.000583333	0.4	6.66667E-06	0.2	20394.32426
	35	0.000583333	0.6	0.00001	0.22	22433.75669
	35	0.000583333	0.8	1.33333E-05	0.23	23453.4729

P2	P3 (mmH <sub>2</sub> O)	P3 (bar)	P3 abs (Pascal)	P4 (mmH <sub>2</sub> O)	P4 (bar)	P4 abs (Pascal)
inject	27	0.002648	264.7728	58	0.005687712	568.7712
inject	25.5	0.002501	250.0632	58.5	0.005736744	573.6744
inject	23	0.002255	225.5472	59	0.005785776	578.5776
inject	26	0.002255	254.9664	67	0.006570288	657.0288
inject	24	0.002354	235.3536	68	0.006668352	666.8352
inject	24	0.002354	235.3536	68	0.006668352	666.8352
inject	20.5	0.00201	201.0312	77	0.007550928	755.0928
inject	19	0.001863	186.3216	78	0.007648992	764.8992
inject	27	0.002648	264.7728	78.5	0.007698024	769.8024

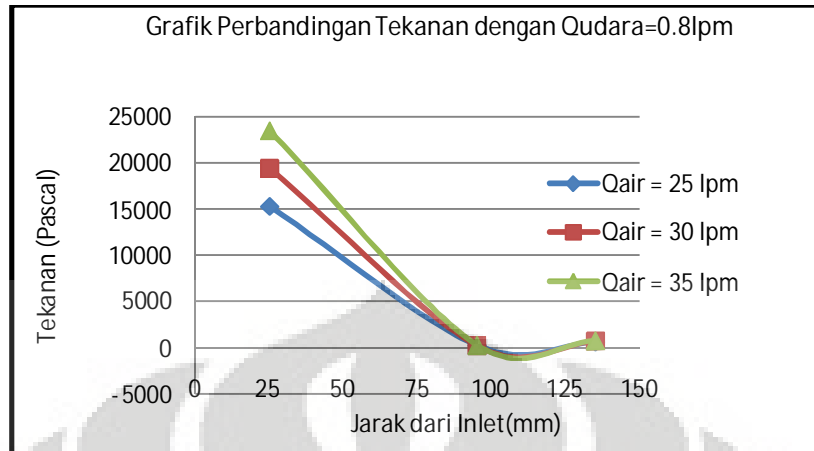
Tekanan dari *spherical ball* akan diplot pada grafik untuk setiap keadaan sehingga dapat diketahui karakteristik tekanan di tiap titik. Dengan tekanan di titik 1 yaitu P1 merupakan tekanan di titik terdekat dari inlet.



Gambar 4. 19 Grafik Perbandingan dengan Q udara = 0.4 lpm

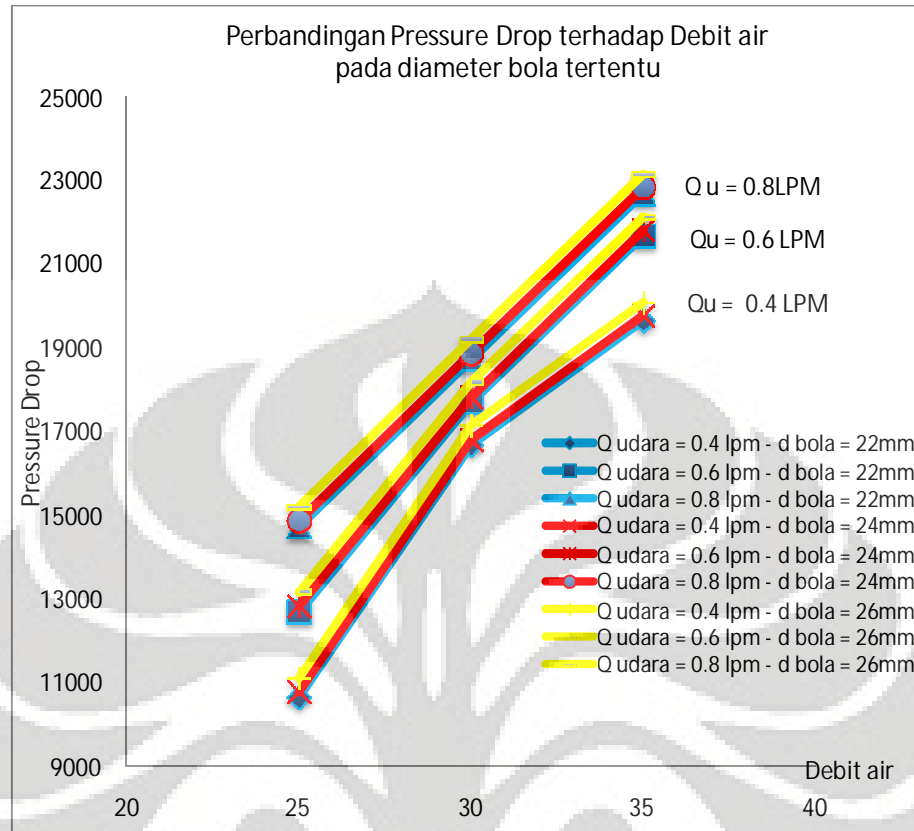


Gambar 4. 20 Grafik Perbandingan dengan Q udara = 0.6 lpm



Gambar 4. 21 Grafik Perbandingan dengan Q udara = 0.3 lpm

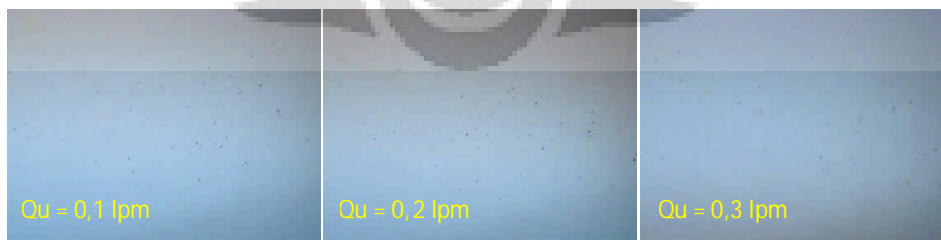
Tekanan di tiap titik pada di spherical ball memiliki kurva yang hampir sama, hasil data tekanan untuk diameter 24mm dan 26mm dapat dilihat di lampiran. Dibawah ini adalah grafik pressure drop untuk spherical ball microbubble generator. Grafik menggambarkan pressure drop untuk masing-masing microbubble generator dengan diameter bola yang berbeda.



Gambar 4.22 Pressure Drop Spherical Ball Microbubble Generator

#### 4.4 HASIL PENGOLAHAN DATA VISUAL

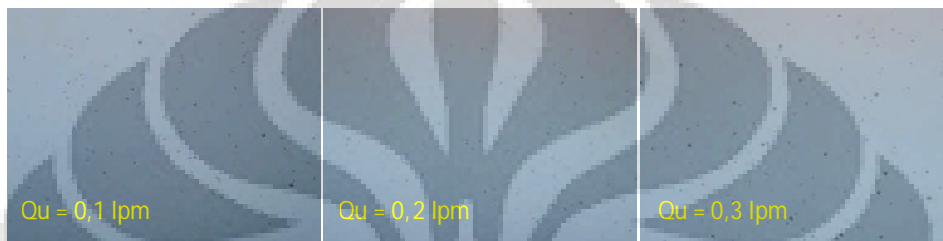
Selain data tekanan, data yang akan diolah adalah hasil foto. Data mentah, yang terdapat pada gambar 2.24 sampai dengan gambar 2.27 adalah data untuk bubble hasil venturi dengan  $dv = 2$   $\alpha_d = 10^\circ$  dengan  $Q$  air dan  $Q$  udara yang divariasikan. Dilihat dari gambar yang ada, semakin meningkatnya debit air akan menghasilkan semakin banyak bubble dengan ukuran yang lebih kecil. Sedangkan debit udara yang bertambah mengakibatkan semakin besar jumlah bubble dengan ukuran yang lebih besar.



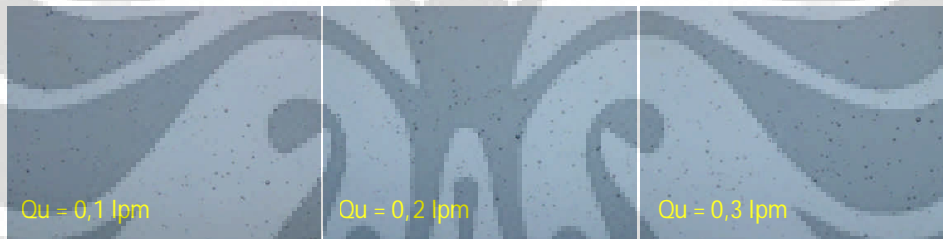
Gambar 4.23 Bubble hasil venturi dengan  $dv = 2$   $\alpha_d = 10^\circ$   $Q_{air} = 7lpm$



Gambar 4.24 Bubble hasil venturi dengan  $dv = 2$   $\alpha_d = 10^\circ$   $Q_{air} = 8\text{lpm}$



Gambar 4.25 Bubble hasil venturi dengan  $dv = 2$   $\alpha_d = 10^\circ$   $Q_{air} = 9\text{lpm}$



Gambar 4.26 Bubble hasil venturi dengan  $dv = 2$   $\alpha_d = 10^\circ$   $Q_{air} = 10\text{lpm}$

Selanjutnya setelah melalui image processing seperti yang dijelaskan pada subbab 4.1, maka akan didapatkan data untuk diameter dan jumlah bubble pada keadaan tertentu. Dari 30 foto yang diambil, setiap foto yang diambil sampel akan dikelompokkan menjadi 23 kelas seperti table 4.8.

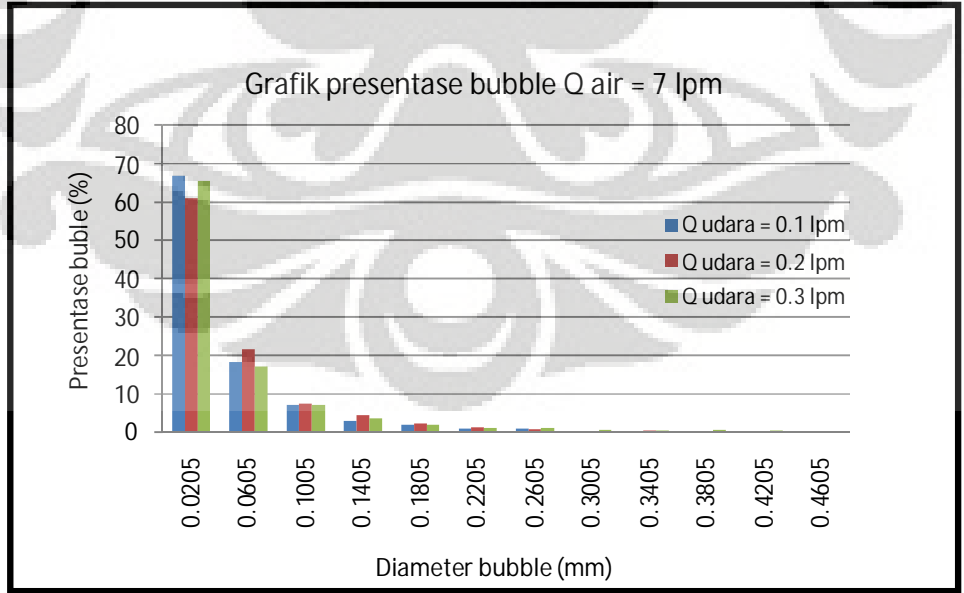
#### 4.4.1 Venturi dengan $dv = 2$ $\alpha_d = 10^\circ$ $Q_{air} = 7\text{lpm}$

Tabel 4.7 Hasil olah data venturi dengan  $dv = 2$   $\alpha_d = 10^\circ$   $Q_{air} = 7\text{lpm}$

KELAS	Interval	Qudara = 0.1 lpm		Qudara = 0.2 lpm		Qudara = 0.3 lpm	
		Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase
1	0.001 - 0.04	2208	66.72710789	2414	60.92882383	2576	65.56375668
2	0.041 - 0.08	607	18.34391055	853	21.52953054	671	17.07813693
3	0.081 - 0.12	238	7.192505289	300	7.571933367	285	7.253754136
4	0.121 - 0.16	99	2.991840435	171	4.316002019	142	3.614151184
5	0.161 - 0.2	64	1.934119069	95	2.3977789	73	1.85797913
6	0.201 - 0.24	29	0.876397703	46	1.161029783	45	1.1453296

7	0.241 - 0.28	30	0.906618314	32	0.807672892	41	1.043522525
8	0.281 - 0.32	11	0.332426715	13	0.328117113	23	0.585390685
9	0.321 - 0.36	7	0.211544273	15	0.378596668	15	0.381776533
10	0.361 - 0.4	7	0.211544273	8	0.201918223	22	0.559938916
11	0.401 - 0.44	4	0.120882442	2	0.050479556	20	0.509035378
12	0.441 - 0.48	3	0.090661831	0	0	5	0.127258844
13	0.481 - 0.52	0	0	7	0.176678445	3	0.076355307
14	0.521 - 0.56	0	0	2	0.050479556	2	0.050903538
15	0.561 - 0.6	2	0.060441221	1	0.025239778	2	0.050903538
16	0.601 - 0.64	0	0	2	0.050479556	0	0
17	0.641 - 0.68	0	0	0	0	0	0
18	0.681 - 0.72	0	0	1	0.025239778	1	0.025451769
19	0.721 - 0.76	0	0	0	0	0	0
20	0.761 - 0.8	0	0	0	0	0	0
21	0.801 - 0.84	0	0	0	0	2	0.050903538
22	0.841 - 0.88	1	0.03022061	0	0	1	0.025451769
23	0.881 - 0.92	0	0	0	0	0	0
Sum		3309	100	3962	100	3929	100

Dari data yang telah dikelompokkan akan didapatkan grafik dengan seperti gambar 4.28. Agar grafik lebih terlihat maka kelas yang ditampilkan sampai dengan kelas 12 dengan koordinat x menyatakan nilai tengah dari range diameter bubble dan Y menyatakan presentase dari bubble.



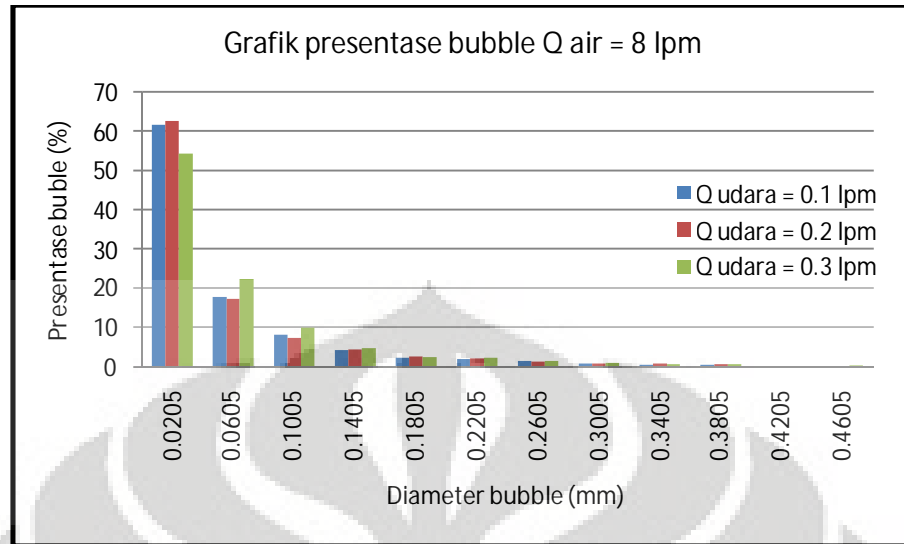
Gambar 4.27 Grafik presentase bubble setiap kelas pada Q air = 7 lpm.

Selanjutnya dengan parameter geometri dibuat konstan, parameter debit air divariasikan menjadi 8 lpm, 9 lpm dan 10 lpm sesuai dengan tabel 4-9 sampai dengan 4-11. Hasil olahan data juga berbentuk grafik.

Tabel 4.8 Hasil olah data venturi dengan  $\alpha_d = 10^\circ$  Qair = 8lpm

KELAS	Interval	Qudara = 0.1 lpm		Qudara = 0.2 lpm		Qudara = 0.3 lpm	
		Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase
1	0.001 - 0.04	2570	61.70468	2356	62.64291	2167	54.28356713
2	0.041 - 0.08	743	17.83914	646	17.17628	886	22.19438878
3	0.081 - 0.12	337	8.091236	270	7.178942	392	9.819639279
4	0.121 - 0.16	174	4.177671	160	4.254188	188	4.709418838
5	0.161 - 0.2	89	2.136855	96	2.552513	96	2.404809619
6	0.201 - 0.24	77	1.848739	73	1.940973	84	2.104208417
7	0.241 - 0.28	61	1.464586	47	1.249668	55	1.377755511
8	0.281 - 0.32	35	0.840336	28	0.744483	39	0.976953908
9	0.321 - 0.36	19	0.456182	27	0.717894	26	0.651302605
10	0.361 - 0.4	18	0.432173	21	0.558362	27	0.676352705
11	0.401 - 0.44	10	0.240096	9	0.239298	9	0.225450902
12	0.441 - 0.48	7	0.168067	7	0.186121	12	0.300601202
13	0.481 - 0.52	5	0.120048	5	0.132943	2	0.0501002
14	0.521 - 0.56	5	0.120048	10	0.265887	5	0.125250501
15	0.561 - 0.6	4	0.096038	2	0.053177	0	0
16	0.601 - 0.64	3	0.072029	3	0.079766	3	0.075150301
17	0.641 - 0.68	2	0.048019	0	0	0	0
18	0.681 - 0.72	0	0	1	0.026589	1	0.0250501
19	0.721 - 0.76	2	0.048019	0	0	0	0
20	0.761 - 0.8	1	0.02401	0	0	0	0
21	0.801 - 0.84	1	0.02401	0	0	0	0
22	0.841 - 0.88	1	0.02401	0	0	0	0
23	0.881 - 0.92	1	0.02401	0	0	0	0
	Sum	4165	100	3761	100	3992	100



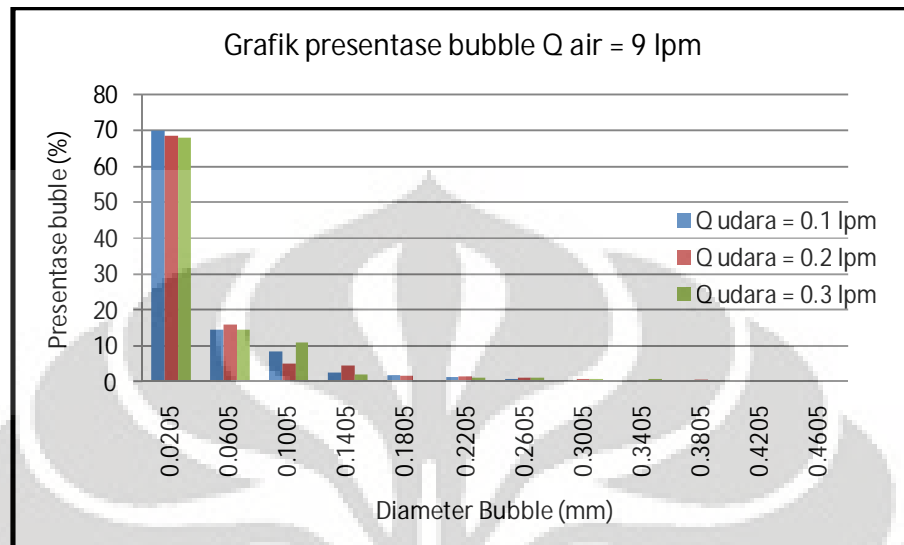


Gambar 4.28 Grafik presentase bubble setiap kelas pada Q air = 8 lpm

Tabel 4.9 Hasil olah data venturi dengan  $\alpha_d = 10^\circ$  Qair = 9lpm

KELAS	Interval	Qudara = 0.1 lpm		Qudara = 0.2 lpm		Qudara = 0.3 lpm	
		Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase
1	0.001 - 0.04	3896	69.97126437	4234	68.57790735	4531	67.85981728
2	0.041 - 0.08	805	14.45761494	985	15.95400065	959	14.36273776
3	0.081 - 0.12	462	8.297413793	307	4.972465177	726	10.87314662
4	0.121 - 0.16	135	2.424568966	275	4.454162617	134	2.006889322
5	0.161 - 0.2	99	1.778017241	108	1.749271137	26	0.389396436
6	0.201 - 0.24	78	1.400862069	94	1.522513767	73	1.093305377
7	0.241 - 0.28	40	0.718390805	70	1.133786848	79	1.183166093
8	0.281 - 0.32	21	0.377155172	36	0.583090379	45	0.673955369
9	0.321 - 0.36	13	0.233477011	22	0.356333009	41	0.614048225
10	0.361 - 0.4	9	0.161637931	27	0.437317784	19	0.284558934
11	0.401 - 0.44	4	0.07183908	3	0.048590865	9	0.134791074
12	0.441 - 0.48	3	0.05387931	1	0.016196955	7	0.104837502
13	0.481 - 0.52	0	0	4	0.06478782	1	0.014976786
14	0.521 - 0.56	0	0	1	0.016196955	6	0.089860716
15	0.561 - 0.6	2	0.03591954	4	0.06478782	15	0.22465179
16	0.601 - 0.64	0	0	1	0.016196955	0	0
17	0.641 - 0.68	0	0	0	0	4	0.059907144
18	0.681 - 0.72	0	0	1	0.016196955	0	0
19	0.721 - 0.76	0	0	0	0	1	0.014976786
20	0.761 - 0.8	0	0	1	0.016196955	0	0
21	0.801 - 0.84	0	0	0	0	0	0
22	0.841 - 0.88	1	0.01795977	0	0	1	0.014976786

23	0.881	-	0.92	0	0	0	0	0	0
	Sum			5568	100	6174	100	6677	100

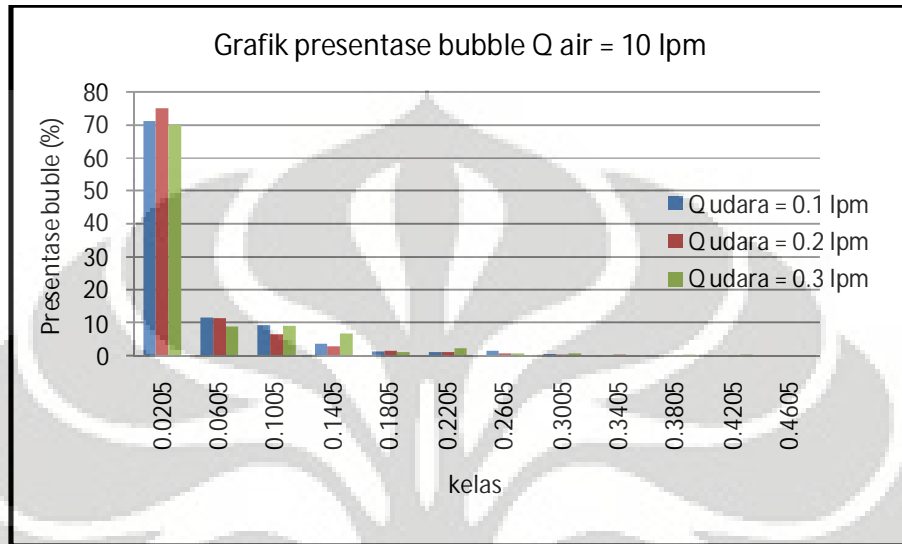


Gambar 4.29 Grafik presentase bubble setiap kelas pada Q air = 9 lpm

Tabel 4.10 Hasil olah data venturi dengan  $\alpha_d = 10^\circ$  Qair = 10lpm

KELAS	Interval	Qudara = 0.1 lpm		Qudara = 0.2 lpm		Qudara = 0.3 lpm	
		Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase
1	0.001 - 0.04	4145	71.14658	5152	75.02548	5991	70.02922268
2	0.041 - 0.08	673	11.55166	784	11.41692	756	8.836937463
3	0.081 - 0.12	533	9.148644	447	6.509393	771	9.012273524
4	0.121 - 0.16	213	3.656025	195	2.839668	573	6.697837522
5	0.161 - 0.2	72	1.235839	95	1.383428	91	1.063705435
6	0.201 - 0.24	55	0.944044	73	1.063055	194	2.267679719
7	0.241 - 0.28	75	1.287333	45	0.655308	56	0.65458796
8	0.281 - 0.32	24	0.411946	19	0.276686	49	0.572764465
9	0.321 - 0.36	7	0.120151	22	0.320373	11	0.128579778
10	0.361 - 0.4	7	0.120151	9	0.131062	27	0.315604909
11	0.401 - 0.44	4	0.068658	1	0.014562	20	0.233781414
12	0.441 - 0.48	1	0.017164	6	0.087374	5	0.058445354
13	0.481 - 0.52	3	0.051493	1	0.014562	3	0.035067212
14	0.521 - 0.56	0	0	3	0.043687	2	0.023378141
15	0.561 - 0.6	2	0.034329	1	0.014562	2	0.023378141
16	0.601 - 0.64	1	0.017164	0	0	0	0
17	0.641 - 0.68	1	0.017164	4	0.05825	0	0
18	0.681 - 0.72	2	0.034329	1	0.014562	1	0.011689071
19	0.721 - 0.76	0	0	0	0	0	0
20	0.761 - 0.8	1	0.017164	0	0	0	0

21	0.801 - 0.84	2	0.034329	1	0.014562	2	0.023378141
22	0.841 - 0.88	4	0.068658	3	0.043687	1	0.011689071
23	0.881 - 0.92	1	0.017164	5	0.072812	0	0
Sum		5826	100	6867	100	8555	100



Gambar 4.30 Grafik presentase bubble setiap kelas pada Q air = 10 lpm

Data dari venturi dapat diambil kesimpulan memiliki rata-rata, nilai maksimum, nilai minimum, standar deviasi dan nilai sering muncul seperti tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil olah data venturi dengan  $= 2 \alpha_d = 10^\circ$

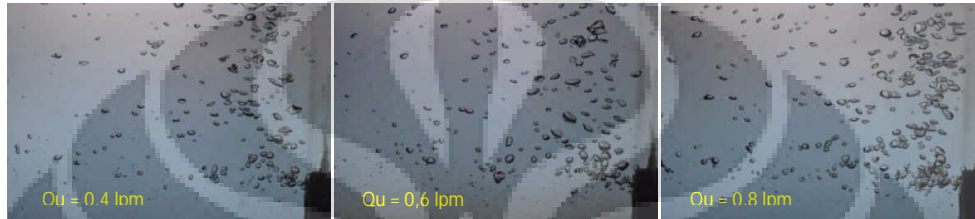
Ket	7lpm			8lpm		
	Qu = 0.1	Qu = 0.2	Qu = 0.3	Qu = 0.1	Qu = 0.2	Qu = 0.3
Mean	0.041475281	0.047738269	0.04763586	0.054538969	0.049674822	0.06119955
Min	0.00148	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793
Max	0.84172	0.71154	0.8239645	0.90089	0.71154	0.74112
SD	0.060167441	0.064232526	0.076727834	0.084087807	0.079407347	0.078900947
Modus	0.00148	0.00148	0.00148	0.00148	0.0014793	0.0014793

9lpm			10lpm		
Qu = 0.1	Qu = 0.2	Qu = 0.3	Qu = 0.1	Qu = 0.2	Qu = 0.3
0.065038423	0.069497859	0.08106976	0.086447775	0.086844171	0.089003773
0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793
0.6390533	0.5739645	0.5976331	0.8964497	0.8852041	0.9298469
0.065383635	0.092413297	0.090243934	0.108464927	0.107583949	0.112723445
0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0012755	0.0012755

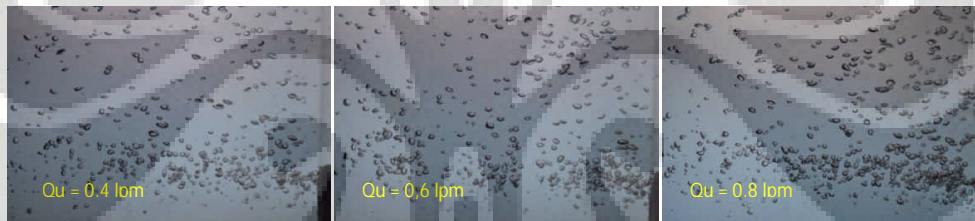
Hasil pengolahan data venturi dengan  $d_v = 3\text{ mm}$  dan  $4\text{ mm}$  terdapat pada lampiran.

#### 4.4.2 Spherical Ball dengan diameter bola 22 mm

Spherical ball dengan diameter 22 mm menghasilkan microbubble seperti gambar 4.31 sampai dengan gambar 4.33.



Gambar 4.31 Hasil *Microbubble Spherical Ball microbubble generator* dengan diameter bola 22mm pada debit air 25 lpm dan debit udara 4 lpm, 6 lpm, 8lpm



Gambar 4.32 Hasil *Microbubble Spherical Ball microbubble generator* dengan diameter bola 22mm pada debit air 30 lpm dan debit udara 4 lpm, 6 lpm, 8lpm.



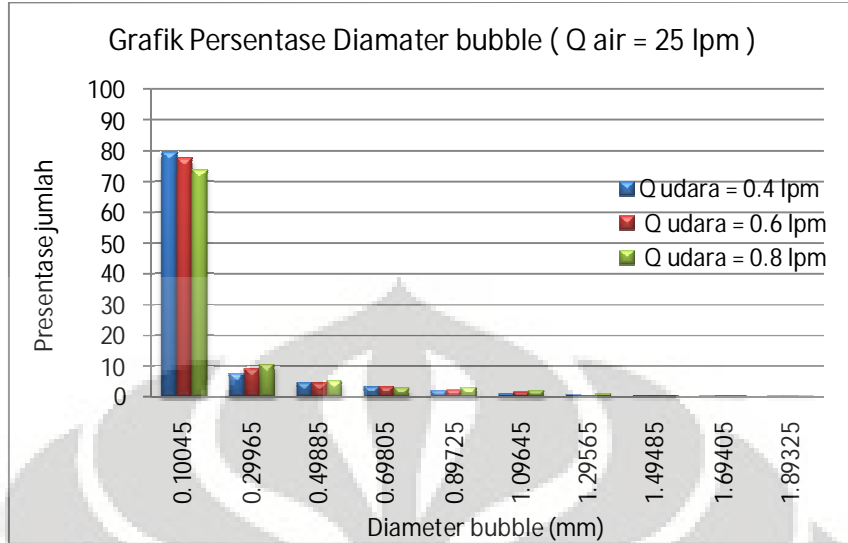
Gambar 4.33 Hasil *Microbubble Spherical Ball microbubble generator* dengan diameter bola 22mm pada debit air 35 lpm dan debit udara 4 lpm, 6 lpm, 8lpm.

Hasil Pengolahan Data Jumlah *Bubble Spherical Ball* dengan diameter bola 22 mm pada debit air 25 lpm.

Tabel 4.12 Jumlah *Bubble Spherical Ball* dengan diameter bola 22 mm pada debit air 25 lpm.

KELAS	Interval	Q udara = 0.4 lpm		Q udara = 0.6 lpm		Q udara = 0.8 lpm	
		Jumlah	Persentase (%)	Jumlah	Persentase (%)	Jumlah	Persentase (%)
1	0.0009 - 0.2	2097	79.61275626	1055	77.63061074	1017	73.6422882
2	0.2001 - 0.3992	198	7.517084282	124	9.124356144	146	10.57204924
3	0.3993 - 0.5984	123	4.669703872	62	4.562178072	74	5.358435916
4	0.5985 - 0.7976	85	3.227031131	45	3.311258278	41	2.968863143
5	0.7977 - 0.9968	50	1.898253607	28	2.060338484	39	2.82404055
6	0.9969 - 1.196	29	1.100987092	20	1.471670346	28	2.027516293
7	1.1961 - 1.3952	21	0.797266515	6	0.441501104	13	0.94134685
8	1.3953 - 1.5944	8	0.303720577	6	0.441501104	7	0.506879073
9	1.5945 - 1.7936	7	0.265755505	4	0.294334069	7	0.506879073
10	1.7937 - 1.9928	4	0.151860289	2	0.147167035	1	0.072411296
11	1.9929 - 2.192	4	0.151860289	3	0.220750552	4	0.289645185
12	2.1921 - 2.3912	2	0.075930144	2	0.147167035	1	0.072411296
13	2.3913 - 2.5904	2	0.075930144	2	0.147167035	3	0.217233888
14	2.5905 - 2.7896	0	0	0	0	0	0
15	2.7897 - 2.9888	4	0.151860289	0	0	0	0
16	2.9889 - 3.188	0	0	0	0	0	0
17	3.1881 - 3.3872	0	0	0	0	0	0
18	3.3873 - 3.5864	0	0	0	0	0	0
19	3.5865 - 3.7856	0	0	0	0	0	0
20	3.7857 - 3.9848	0	0	0	0	0	0
21	3.9849 - 4.184	0	0	0	0	0	0
22	4.1841 - 4.3832	0	0	0	0	0	0
23	4.3833 - 4.5824	0	0	0	0	0	0
24	4.5825 - 4.7816	0	0	0	0	0	0
25	4.7817 - 4.9808	0	0	0	0	0	0
26	4.9809 - 5.18	0	0	0	0	0	0
27	5.1801 - 5.3792	0	0	0	0	0	0
28	5.3793 - 5.5784	0	0	0	0	0	0
29	5.5785 - 5.7776	0	0	0	0	0	0
30	5.7777 - 5.9768	0	0	0	0	0	0
31	5.9769 - 6.176	0	0	0	0	0	0
SUM		2634	100	1359	100	1381	100

Hasil populasi yang telah dikelompokkan berdasarkan 31 kelas diatas dapat digambarkan dalam grafik yang ditampilkan dalam 10 kelas teratas .

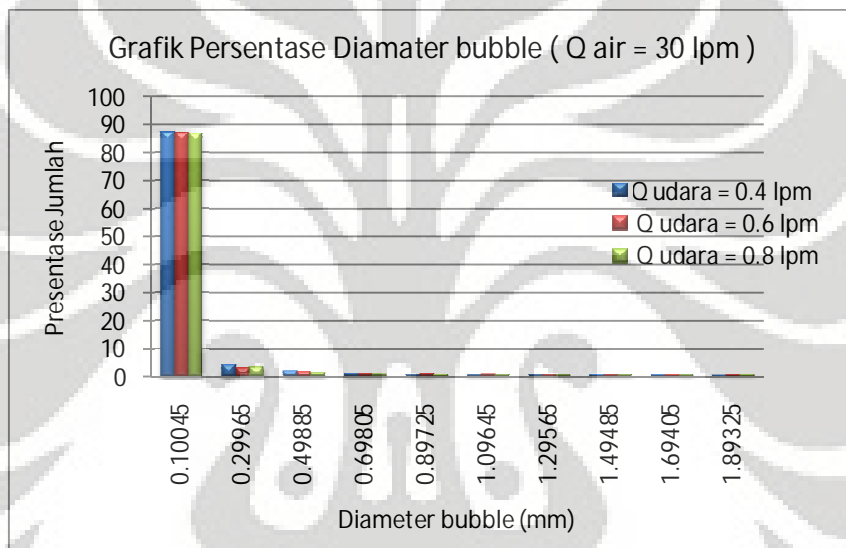


Gambar 4.34 Grafik persentase diameter bubble pada debit air 25 lpm

Tabel 4.13 Jumlah *Bubble Spherical Ball* dengan diameter bola 22 mm pada debit air 30 lpm.

KELAS	Interval	Q udara = 0.4 lpm		Q udara = 0.6 lpm		Q udara = 0.8 lpm	
		Jumlah	Persentase (%)	Jumlah	Persentase (%)	Jumlah	Persentase (%)
1	0.0009 - 0.2	3870	87.29979698	4128	87.14376187	5367	86.87277436
2	0.2001 - 0.3992	189	4.263478457	146	3.082119485	215	3.480090644
3	0.3993 - 0.5984	89	2.00766975	88	1.857715854	94	1.521528003
4	0.5985 - 0.7976	59	1.330927137	58	1.224403631	63	1.019747491
5	0.7977 - 0.9968	39	0.879765396	55	1.161072409	43	0.696018129
6	0.9969 - 1.196	36	0.812091135	46	0.971078742	54	0.874069278
7	1.1961 - 1.3952	32	0.721858786	35	0.73886426	53	0.85788281
8	1.3953 - 1.5944	29	0.654184525	37	0.781085075	52	0.841696342
9	1.5945 - 1.7936	22	0.496277916	23	0.485539371	56	0.906442214
10	1.7937 - 1.9928	15	0.338371306	30	0.633312223	42	0.679831661
11	1.9929 - 2.192	11	0.248138958	13	0.274435297	34	0.550339916
12	2.1921 - 2.3912	10	0.225580871	14	0.295545704	11	0.178051149
13	2.3913 - 2.5904	7	0.15790661	10	0.211104074	17	0.275169958
14	2.5905 - 2.7896	2	0.045116174	8	0.168883259	9	0.145678213
15	2.7897 - 2.9888	6	0.135348522	5	0.105552037	7	0.113305277
16	2.9889 - 3.188	5	0.112790435	10	0.211104074	10	0.161864681
17	3.1881 - 3.3872	1	0.022558087	8	0.168883259	6	0.097118809
18	3.3873 - 3.5864	1	0.022558087	3	0.063331222	7	0.113305277
19	3.5865 - 3.7856	4	0.090232348	2	0.042220815	2	0.032372936
20	3.7857 - 3.9848	1	0.022558087	4	0.08444163	3	0.048559404
21	3.9849 - 4.184	1	0.022558087	2	0.042220815	3	0.048559404

22	4.1841 - 4.3832	1	0.022558087	1	0.021110407	6	0.097118809
23	4.3833 - 4.5824	1	0.022558087	3	0.063331222	4	0.064745872
24	4.5825 - 4.7816	0	0	1	0.021110407	3	0.048559404
25	4.7817 - 4.9808	0	0	1	0.021110407	5	0.080932341
26	4.9809 - 5.18	1	0.022558087	0	0	1	0.016186468
27	5.1801 - 5.3792	1	0.022558087	2	0.042220815	2	0.032372936
28	5.3793 - 5.5784	0	0	1	0.021110407	3	0.048559404
29	5.5785 - 5.7776	0	0	1	0.021110407	2	0.032372936
30	5.7777 - 5.9768	0	0	2	0.042220815	2	0.032372936
31	5.9769 - 6.176	0	0	0	0	2	0.032372936
SUM		4433	100	4737	100	6178	100



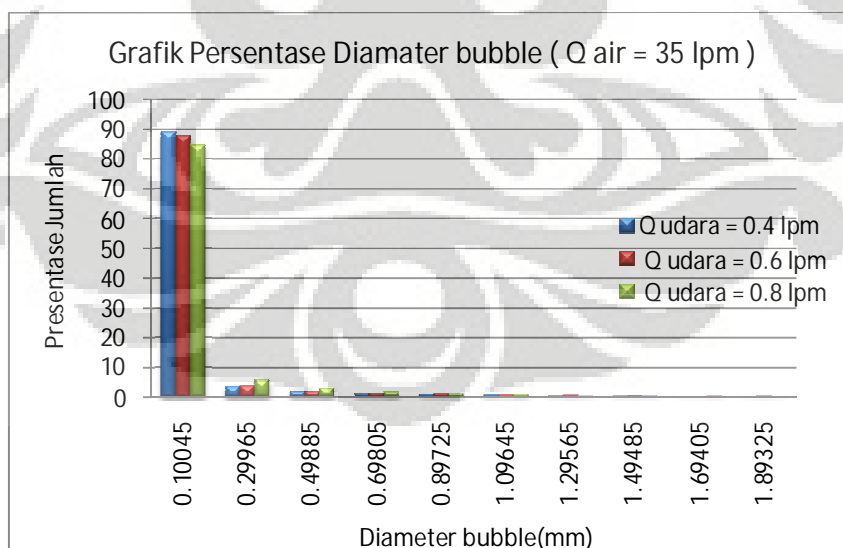
Gambar 4.35 Grafik persentase diameter bubble pada debit air 30 lpm

Tabel 4.14 Jumlah *Bubble Spherical Ball* dengan diameter bola 22 mm pada debit air 35 lpm.

KELAS	Interval	Q udara = 0.4 lpm		Q udara = 0.6 lpm		Q udara = 0.8 lpm	
		Jumlah	Persentase (%)	Jumlah	Persentase (%)	Jumlah	Persentase (%)
1	0.0009 - 0.2	8422	89.14999471	9503	87.85245447	10733	84.75205306
2	0.2001 - 0.3992	341	3.609611517	410	3.790330036	742	5.859128238
3	0.3993 - 0.5984	173	1.831269186	203	1.876675603	361	2.850600126
4	0.5985 - 0.7976	120	1.270244522	142	1.312748452	221	1.745104232
5	0.7977 - 0.9968	89	0.942098021	123	1.137099011	128	1.010739103
6	0.9969 - 1.196	72	0.762146713	78	0.721087178	99	0.781743525
7	1.1961 - 1.3952	41	0.434000212	59	0.545437737	52	0.410612761
8	1.3953 - 1.5944	36	0.381073357	54	0.4992142	53	0.41850916
9	1.5945 - 1.7936	21	0.222292791	29	0.268096515	54	0.426405559



10	1.7937	-	1.9928	16	0.169365936	38	0.351298881	38	0.300063171
11	1.9929	-	2.192	20	0.21170742	21	0.194138856	21	0.165824384
12	2.1921	-	2.3912	18	0.190536678	15	0.138670611	43	0.339545167
13	2.3913	-	2.5904	10	0.10585371	26	0.240362393	5	0.039481996
14	2.5905	-	2.7896	10	0.10585371	15	0.138670611	14	0.110549589
15	2.7897	-	2.9888	10	0.10585371	19	0.175649441	13	0.10265319
16	2.9889	-	3.188	5	0.052926855	10	0.092447074	9	0.071067593
17	3.1881	-	3.3872	10	0.10585371	10	0.092447074	7	0.055274795
18	3.3873	-	3.5864	1	0.010585371	5	0.046223537	6	0.047378395
19	3.5865	-	3.7856	4	0.042341484	4	0.03697883	22	0.173720783
20	3.7857	-	3.9848	6	0.063512226	4	0.03697883	3	0.023689198
21	3.9849	-	4.184	3	0.031756113	7	0.064712952	16	0.126342388
22	4.1841	-	4.3832	4	0.042341484	9	0.083202367	3	0.023689198
23	4.3833	-	4.5824	4	0.042341484	5	0.046223537	8	0.063171194
24	4.5825	-	4.7816	2	0.021170742	2	0.018489415	4	0.031585597
25	4.7817	-	4.9808	0	0	6	0.055468244	7	0.055274795
26	4.9809	-	5.18	4	0.042341484	5	0.046223537	1	0.007896399
27	5.1801	-	5.3792	1	0.010585371	3	0.027734122	1	0.007896399
28	5.3793	-	5.5784	1	0.010585371	8	0.073957659	0	0
29	5.5785	-	5.7776	1	0.010585371	4	0.03697883	0	0
30	5.7777	-	5.9768	2	0.021170742	0	0	0	0
31	5.9769	-	6.176	0	0	0	0	0	0
SUM				9447	100	10817	100	12664	100



Gambar 4.36 Grafik persentase diameter bubble pada debit air 35 lpm



Dari hasil pengolahan data visual, maka didapatkan rata-rata, nilai minimum, nilai maksimum, dan nilai yang sering muncul untuk bubble yang dihasilkan dari microbubble generator tipe spherical ball dengan diameter bola 22mm adalah sebagai berikut.

Tabel 4.15 Hasil data spherical ball dengan d bola 22mm

Keterangan	Q air = 25lpm			Q air = 30 lpm		
	Q u = 0.4	Q u = 0.6	Q u = 0.8	Q u = 0.4	Q u = 0.6	Q u = 0.8
Rata-Rata	0.149706975	0.161631702	0.188774053	0.132139845	0.157831043	0.170491859
Min	0.0009183	0.0009183	0.0009183	0.0009183	0.0009183	0.0009183
Max	2.8347564	2.4894399	2.4279155	5.3480257	5.9687787	5.902663
SD	0.319108466	0.319004387	0.348474001	0.422573876	0.512940656	0.547029996
Modus	0.0009183	0.0009183	0.0009183	0.0009183	0.0009183	0.0009183

Keterangan	Q air = 35 lpm		
	Q u = 0.4	Q u = 0.6	Q u = 0.8
Rata-Rata	0.120776943	0.138496497	0.140358531
Min	0.0009183	0.0009183	0.0009183
Max	5.8631772	5.4793388	4.8328742
SD	0.421383506	0.474000487	0.43159793
Modus	0.0009183	0.0009183	0.0009183

## 4.5 ANALISA

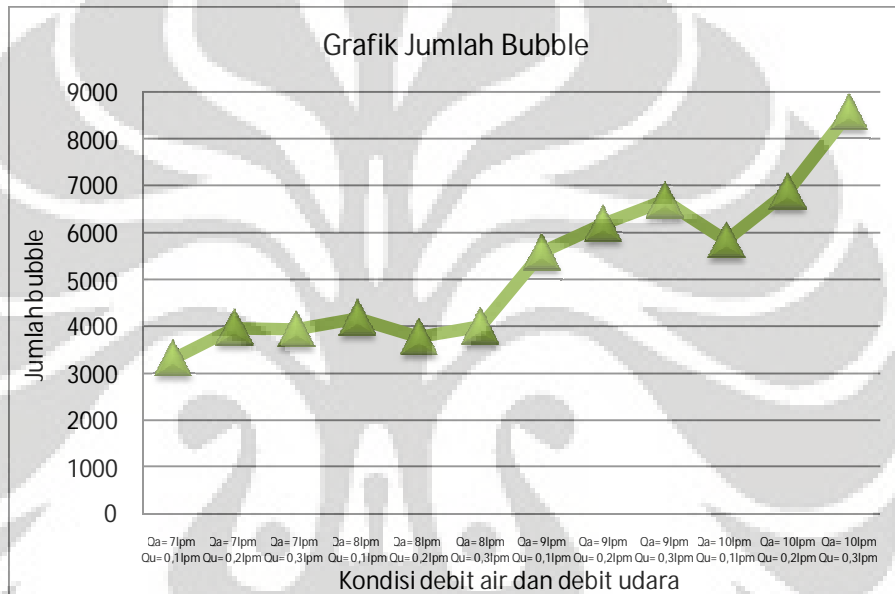
Venturi dan *spherical ball* mampu menghasilkan *microbubble*. Pengaruh parameter geometri dan aliran dijelaskan dibawah ini.

### 4.5.1 Pengaruh debit air pada Venturi

Pada venturi debit air divariasikan menjadi 4 jenis yang keempatnya merupakan aliran turbulen. Semakin besarnya debit air maka bilangan Reynolds dari aliran tersebut lebih besar. Selain itu meningkatnya debit air menyebabkan pressure drop dari venturi tube meningkat, seperti grafik pada gambar 4.17, lampiran 1, lampiran 2, lampiran 3 dan lampiran 4. Pada kondisi debit udara dianggap konstan (pada grafik diatas ditandai dengan persamaan warna), debit air yang divariasikan mempengaruhi peningkatan pressure drop.

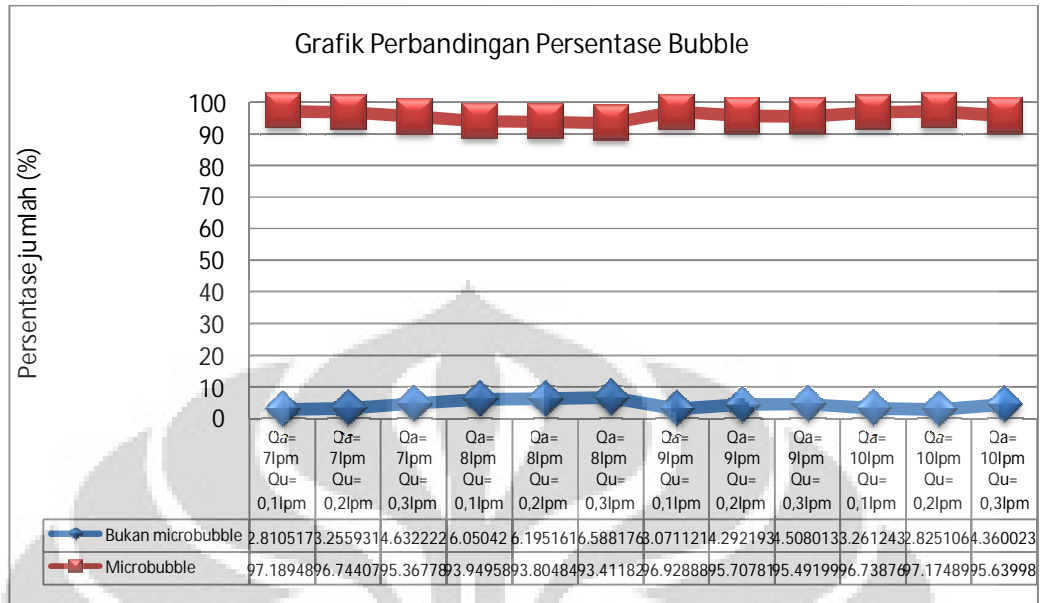
Debit air dan pressure drop mempengaruhi karakteristik dari *microbubble* yang dihasilkan. Dengan semakin besar debit air maka semakin besar pressure

drop, turbulensi meningkat mempengaruhi bubble yang didispersikan menjadi ukuran lebih kecil, dengan jumlah yang lebih banyak. Hal ini disebabkan karena tekanan di dalam leher pipa venturi menjadi semakin negatif dibandingkan dengan tekanan atmosfer, aliran menjadi semakin acak sehingga bubble terbentuk lebih banyak. Fenomena ini dapat dilihat pada gambar 4.27, gambar 4.28 dan gambar grafik lain yang menggambarkan distribusi dari bubble yang dihasilkan atau grafik 4.37.



Gambar 4.37 grafik jumlah bubble pada venturi dengan  $dv = 2\text{mm}$

Bila grafik dikelompokkan menjadi 2 bagian besar yaitu microbubble dan bukan microbubble, maka dari grafik 4.38 dibawah ini akan diketahui secara jelas kenaikan debit air menyebabkan kenaikan jumlah dari microbubble yang dihasilkan.

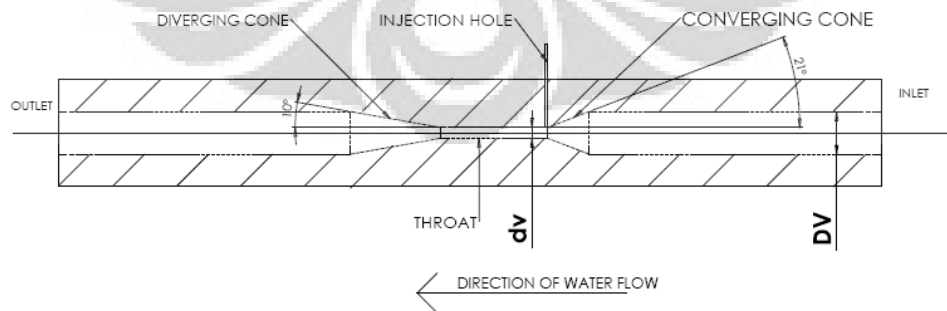


Gambar 4.38 Grafik persentase bubble venturi  $d_v = 2\text{mm}$

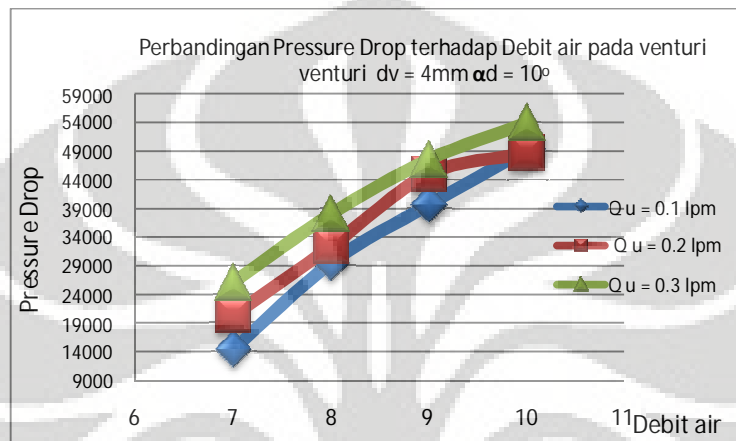
Hal ini sejalan dengan yang disampaikan Kato dan kawan-kawan dalam penelitiannya yang menyatakan hubungan antara kecepatan aliran dengan diameter rata-rata dari bubble. Dengan meningkatnya kecepatan aliran maka diameter bubble rata-rata semakin kecil. [16]

#### 4.5.2 Pengaruh debit udara pada Venturi *microbubble generator*

Pada venturi tube debit udara di injeksikan pada lubang ke 2 atau daerah keluaran converging cone.



Dari grafik tekanan disetiap titik dengan debit udara yang divariasikan sedangkan debit air dan geometri yang dibuat konstan, pengaruh debit udara cukup signifikan untuk setiap titik. Semakin besar debit udara maka semakin kecil nilai tekanan. Sehingga fenomena dari menurunnya nilai tekanan pada suatu titik di venturi dengan variasi debit udara yang dilakukan adalah disebabkan karena bilangan Reynolds yang meningkat.

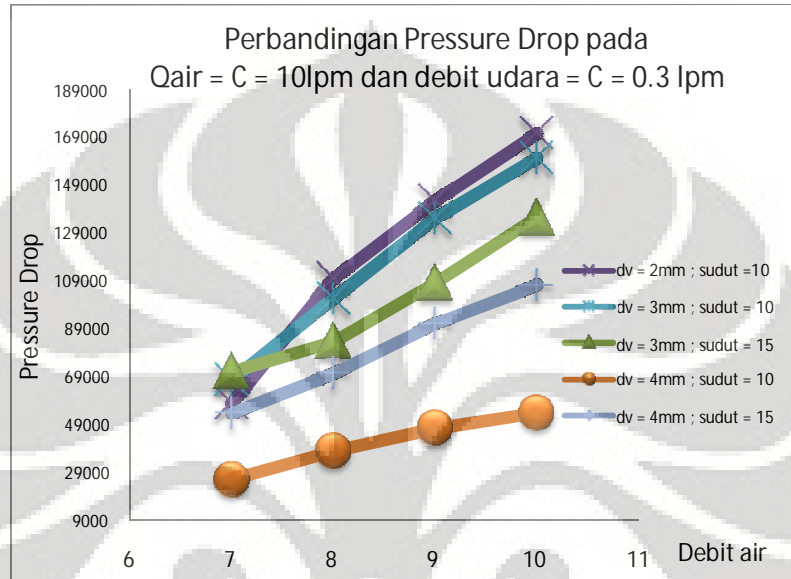


Dari segi bubble yang dihasilkan, gambaran yang didapatkan dari grafik adalah semakin besar debit air maka memiliki pengaruh yang signifikan terhadap jumlah dan ukuran bubble. Grafik 4 menunjukkan bahwa semakin besar debit air yang diberikan maka jumlah bubble akan meningkat. Jumlah bubble yang dihasilkan mengalami peningkatan namun demikian microbubble yang dihasilkan persentasenya menurun. Hal ini terjadi karena injeksi udara dengan debit tertentu berarti meningkatkan void fraction. Semakin banyak udara, dengan keadaan yang sama tentu mengakibatkan waktu untuk memecah udara menjadi bubble menjadi lebih lama, beberapa persen dari udara tidak mampu untuk dipecah menjadi microbubble, sehingga populasi bubble dengan ukuran besar meningkat. Secara jelas diperoleh dari grafik dibawah ini, dengan meningkatnya debit udara, maka jumlah bubble yang dihasilkan semakin banyak dengan diameter yang kecil.

Hal ini sejalan dengan Baylar dan kawan-kawan yang menyimpulkan bahwa perbandingan  $Q_u/Q_a$  merupakan parameter penting. Hubungan antara nilai perbandingan  $Q_u/Q_a$  dengan bilangan Reynolds adalah semakin tinggi  $Q_u/Q_a$  maka bilangan Reynolds meningkat[13].

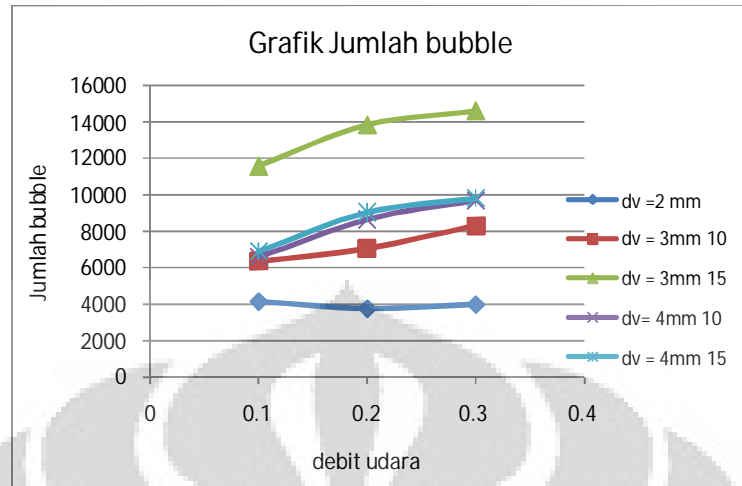
#### 4.5.3 Pengaruh Geometri pada venturi

Parameter lain yang divariasikan adalah geometri. Untuk venturi geometri yang divariasikan berdasarkan diameter kecil venturi dan sudut diverging cone. Hasil penelitian menunjukkan bahwa diameter kecil yang divariasikan berpengaruh terhadap pressure drop seperti grafik dibawah ini.



Gambar 4.39 Grafik Pressure drop dengan debit air pada 5 jenis venturi

Grafik menunjukkan nilai X sebagai debit air dan Y sebagai pressure drop. Yang memiliki pressure drop tertinggi adalah venturi dengan diameter kecil 2mm. Dari grafik dapat ditarik benang merah yang menyatakan semakin besar perbandingan diameter pada sebuah venturi akan meningkatkan pressure drop dari venturi. Luas penampang dari microbubble generator yang berubah semakin drastis akan mengakibatkan aliran meningkat turbulensinya. Peningkatan turbulensi ini berpengaruh terhadap jumlah dan ukuran dari bubble yang dihasilkan. Dari penelitian ini didapatkan grafik seperti dibawah ini.

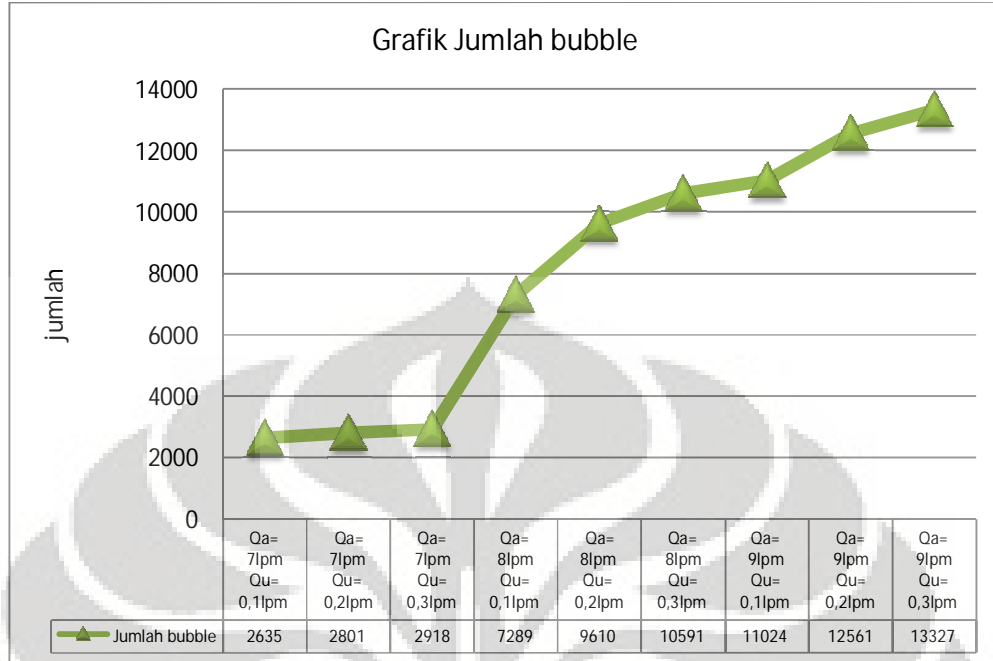


Gambar 4.40 Grafik jumlah bubble pada 5 jenis venturi

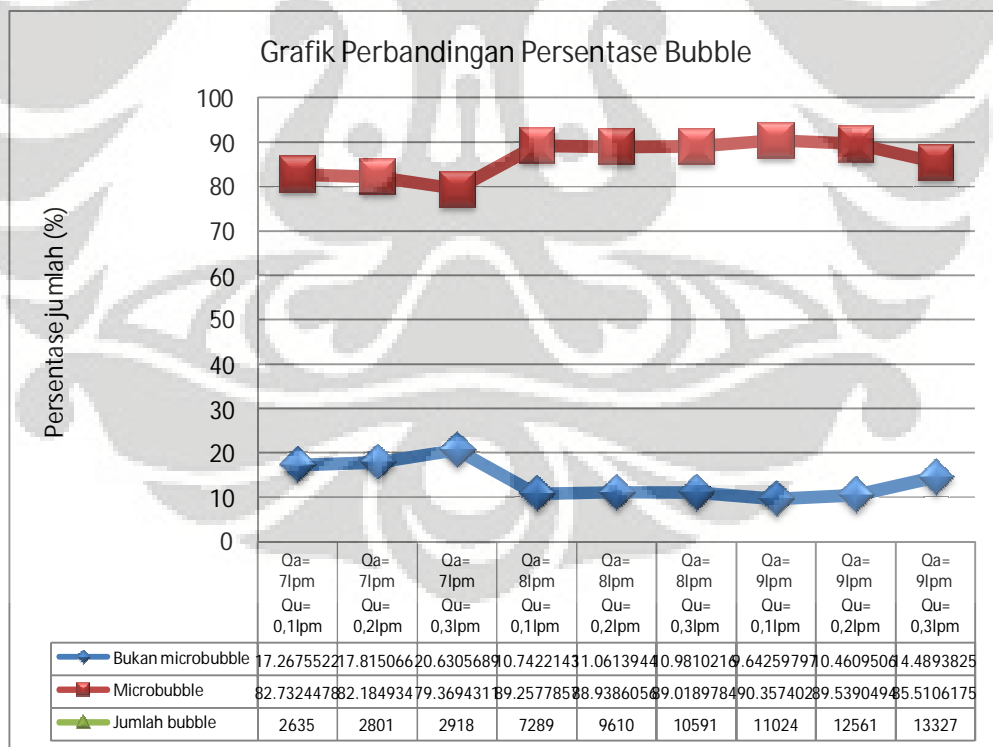
Grafik menggambarkan diameter kecil 3mm dan sudut  $15^\circ$  dapat menghasilkan bubble dengan jumlah yang paling banyak. Bila secara keseluruhan, maka pengaruh diameter yang semakin besar maka jumlah bubble semakin banyak. Pengaruh sudut diverging cone adalah semakin besar sudut maka jumlah bubble semakin banyak. Hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu yang menyatakan diverging cone memiliki pengaruh yang signifikan. Semakin besar sudut diverging cone maka meningkatkan  $Q_u$ . Meningkatnya  $Q_u$  ini berpengaruh terhadap meningkatnya void fraction. Semakin besar void fraction maka nilai bilangan Reynolds meningkat[13]. Data ini belum dapat dianalisa lebih lanjut mengingat tren yang ada belum seragam. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh parameter geometri.

#### 4.5.4 Pengaruh debit air pada Spherical ball *microbubble generator*

Variasi debit air pada spherical ball memiliki pengaruh yang hampir sama dengan fenomena pada venturi. Meningkatnya debit air yang sama dengan meningkatnya bilangan Reynolds suatu aliran. Semakin turbulen suatu aliran lebih turbulen sehingga bubble yang dihasilkan lebih banyak dan lebih halus. Dapat dilihat pada grafik di bawah ini bahwa dengan parameter lain dibuat konstan, presentase microbubble yang dihasilkan pada  $Q_{air} = 35$  lpm lebih besar daripada debit yang lain.



Gambar 4.41 grafik jumlah microbu uble pada *spherical ball*



Gambar 4.42 grafik persentase microbuuble pda *spherical ball*



Koordinat X menunjukkan nilai debit air dan Y menunjukkan pressure drop. Pada kondisi debit udara dianggap konstan (pada grafik diatas ditandai dengan persamaan warna), debit air yang divariasikan mempengaruhi jumlah dan persentase microbubble yang dihasilkan.

Dilihat dari segi pressure drop, yang grafiknya dapat dilihat pada gambar 4.22 dan gambar 4.23 pengaruh dari meningkatnya debit air maka pressure drop akan meningkat.

#### 4.5.5 Pengaruh debit udara pada Spherical Ball *microbubble generator*

Debit udara mempengaruhi bubble yang dihasilkan pada spherical ball. Grafik adalah semakin besar debit air maka memiliki pengaruh yang signifikan terhadap jumlah dan ukuran *bubble*. Grafik 4.54 menunjukkan bahwa semakin besar debit udara yang diberikan maka jumlah *bubble* akan meningkat. Jumlah *bubble* yang dihasilkan mengalami peningkatan namun demikian *microbubble* yang dihasilkan persentasenya menurun. Hal ini terjadi karena injeksi udara dengan debit tertentu berarti meningkatkan void fraction. Semakin banyak udara, dengan keadaan yang sama tentu mengakibatkan waktu untuk memecah udara menjadi bubble menjadi lebih lama, beberapa persen dari udara tidak mampu untuk dipecah menjadi *microbubble*, sehingga populasi bubble dengan ukuran besar meningkat. Dari grafik tekanan disetiap titik dengan debit udara yang divariasikan sedangkan debit air dan geometri yang dibuat konstan, pengaruh debit udara cukup signifikan untuk setiap titik. Semakin besar debit udara maka semakin kecil nilai tekanan.

#### 4.5.6 Pengaruh Geometri pada Spherical Ball *microbubble generator*

Parameter lain yang divariasikan adalah geometri, untuk spherical ball geometri yang divariasikan berdasarkan diameter bola. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar diameter bola maka bubble yang dihasilkan memiliki diameter kecil dengan jumlah yang lebih banyak. Pada grafik 4.22 menunjukkan nilai X sebagai debit air dan Y sebagai pressure drop, varian yang memiliki pressure drop tertinggi adalah dengan diameter bola 26mm. Grafik menyatakan semakin besar diameter bola akan meningkatkan pressure drop dari.



Luas penampang dari microbubble generator yang berubah semakin drastis akan mengakibatkan aliran meningkat turbulensinya. Peningkatan turbulensi ini berpengaruh terhadap pressure drop dan jumlah serta ukuran dari bubble yang dihasilkan. Grafik pada lampiran 9 menjelaskan secara rinci jumlah dan presentase bubble. Untuk bubble dengan diameter 26mm persentase microbubble mencapai 88-91 %. Sedangkan dengan diameter 24mm persentase microbubble 82-90 %. Jumlah dari bubble pada dengan diameter bola 26mm sekitar 6000-15000. Sedangkan dari microbubble dengan diameter bola 24mm, jumlah microbubble berkisar antara 2000-11.000 bubble. Sehingga pengaruh dari semakin besarnya bola maka jumlah bubble semakin besar dan banyak.



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. KESIMPULAN**

Dari penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan-kesimpulan sebagai berikut :

1. Venturi dan spherical ball dapat menghasilkan microbubble dengan presentase 50-90 persen dari bubble yang dihasilkan.
2. Debit air mempengaruhi karakteristik bubble yang dihasilkan. Semakin besar debit air maka semakin banyak jumlah bubble dengan presentase jumlah microbubble yang meningkat.
3. Debit udara mempengaruhi karakteristik bubble yang dihasilkan. Semakin besar debit udara maka jumlah bubble meningkat dengan presentase microbubble yang menurun.
4. Parameter geometri venturi memiliki pengaruh terhadap bubble yang dihasilkan. Pengaruh dari sudut diverging cone adalah semakin besar sudut maka semakin
5. Parameter geometri memiliki pengaruh terhadap bubble yang dihasilkan. Untuk spherical ball microbubble generator pengaruh dari diameter bola adalah semakin besar diameter bubble maka semakin banyak jumlah bubble yang dihasilkan dengan presentase nilai dari microbubble yang dihasilkan meningkat.

#### **5.2.SARAN**

Penelitian yang dilakukan membutuhkan penambahan variasi untuk venturi tube, khususnya parameter geometri untuk diteliti lebih lanjut untuk mendapatkan data yang semakin signifikan terhadap karakteristik dari bubble yang dihasilkan.

## DAFTAR ACUAN

- [1] Murai Y, Fukuda H, Oishi Y, Kodama Y, Yamamoto F. 2007. Skin friction reduction by large air bubbles in a horizontal channel flow. *Int J Multiph Flow* 33:147–163
- [2] Shen Xiaochun, Ceccio Steven L. Perlin Marc. 2006. Influence of bubble size on micro-bubble drag reduction.
- [3] Laksana, Matriadi. 2008. *Microbubble Generator* dengan metode Spherical Ball dalam pipa beraliran.
- [4] Tahara Y, Stern F. 1996. A large-domain approach for calculating ship boundary layers and wakes for nonzero Froude number. *J Comput Phys* 127:398-411
- [5] McCormick, M.E. and Bhattacharyya, R. 1973. Drag reduction of a Submersible Hul by Electrolysis, *Naval Engineers Journal*, Vol.85, No.2, pp.11-16.
- [6] Kodama Y, Kakugawa A, Takahashi T, Nagaya S, Kawamura T. Drag Reduction of Ship by *Microbubbles*.
- [7] Britannica.com. Britannica Concise Encyclopedia AKSES TANGGAL 27 FEBRUARI 2010).
- [8] Brennen, Christopher E. 1995. *Cavitation and Bubble Dynamics* - Oxford University Press
- [9] <http://www.thefreedictionary.com/venturi+tube>
- [10] Douglas, JF. John A. Swaffield. *Fluid Mechanic* 5<sup>th</sup> edition. 2005.
- [11] Munson, Bruce R., Donald F. Young, Theodore H. Okiishi, “*Mekanika Fluida Jilid 1*”, Erlangga, 2003.

- [12] Kawamura, takafumi. akiko fujiwara takahito takaashi, horohharu kato, youchiro matsumoto yoshiaki kodama. The effect of the bubble size on the bubble dispersion and skin friction reduction. Japan
- [13] A. Baylar PhD, MSc, F. Ozkan PhD, MSc and M. Ozturk PhD, MS. Influence of venturi cone angles on jet aeration systems. Proceedings of the Institution of Civil Engineers Water Management 158 March 2005 Issue WM1
- [12] Two-Phase Flow, Boiling and Condensation S. Mostafa Ghiaasiaan Georgia Institute of Technology 2008
- [13] Engineering data book III – Wolvrine tube inc
- [14] Nouri, N. M. A., Sarreshtehdari, E. Maghsoudi, A. Moosaie, “Anexperimental study on the influence of fluid flowpattern on microbubble generation”, Jurnal, Springer-Verlag, 2008
- [15] Kato, Hiroharu, Kento Miura, Hajime Yamaguchi, Masaru Miyanaga, “Experimental Study on Microbubble Ejection Method for Frictional Drag Reduction”, Journal of Marine Science and Technology, 1998.
- [16] Kato, Hiroharu, Moriguchi, Yusohiro. Influence of Microbubble diameter and distribution on Frictional Resistance Reduction. Toyo University, Japan. 2002.

## DAFTAR PUSTAKA

Munson, Bruce R., Donald F. Young, Theodore H. Okiishi, “Mekanika Fluida Jilid 1”, Erlangga, 2003.

Munson, Bruce R., Donald F. Young, Theodore H. Okiishi, “Mekanika Fluida Jilid 2”, Erlangga, 2003.

Ghiaasiaan , Mostafa Georgia . Two-Phase Flow, Boiling and Condensation S. Institute of Technology. 2008

Clift R, Grace J. R, Weber M. E. Bubbles, Drops and Particles. Academic Press. 1978.

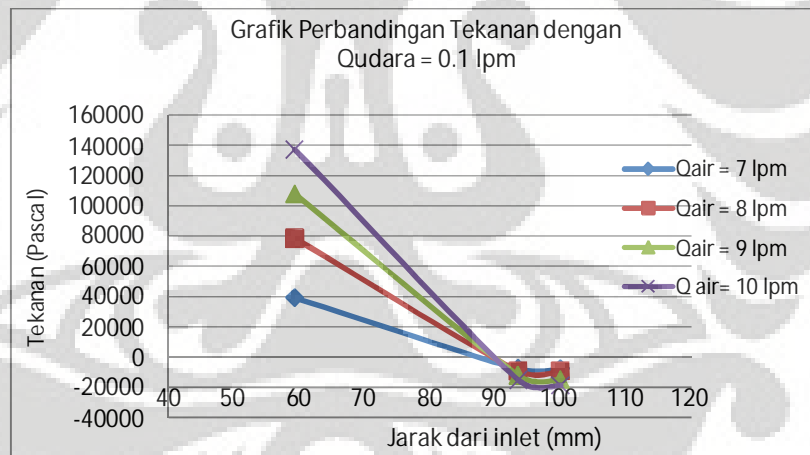
**LAMPIRAN**



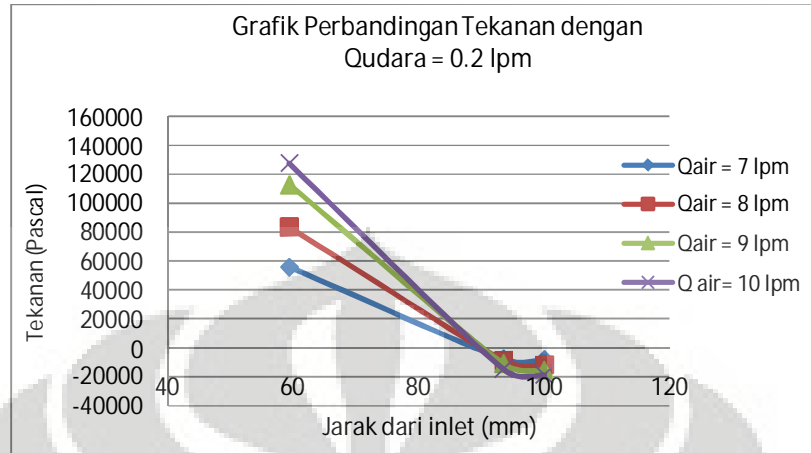
**Lampiran 1. Hasil data tekanan pada venturi dengan DV = 8mm dv = 3 mm  
 $\alpha d = 10^\circ$**

Tabel tekanan pada Venturi dengan DV = 8mm dv = 3 mm dan sudut diverging sebesar  $10^\circ$ .

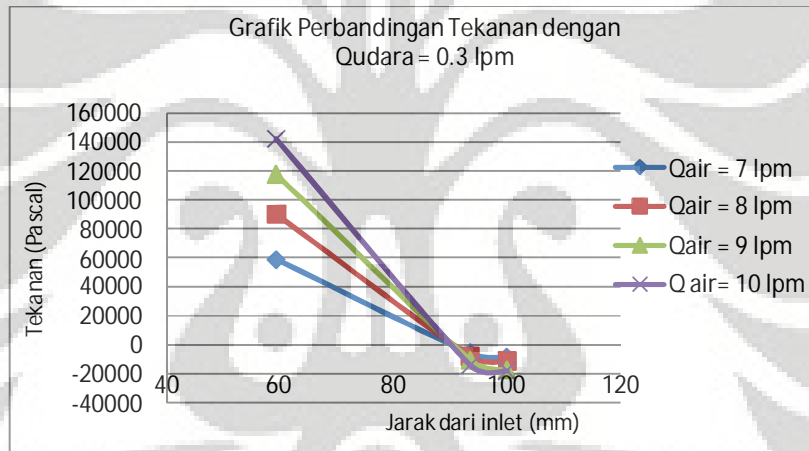
No	Q air(m <sup>3</sup> /s)	Q udara (m <sup>3</sup> /s)	P1 (Pascal)	P2	P3 (Pascal)	P4 (Pascal)
1	0.000116667	1.66667E-06	39226.6	inject	-7599.354	-7732.676
	0.000116667	3.33333E-06	55897.905	inject	-7865.998	-8399.286
	0.000116667	0.000005	58839.9	inject	-5866.168	-8799.252
2	0.000133333	1.66667E-06	78453.2	inject	-9199.218	-9332.54
	0.000133333	3.33333E-06	83356.525	inject	-8665.93	-11732.336
	0.000133333	0.000005	90221.18	inject	-8199.303	-11332.37
3	0.00015	1.66667E-06	107873.15	inject	-11998.98	-14665.42
	0.00015	3.33333E-06	112776.475	inject	-10799.082	-15332.03
	0.00015	0.000005	117679.8	inject	-10532.438	-17331.86
4	0.000166667	1.66667E-06	137293.1	inject	-15065.386	-18665.08
	0.000166667	3.33333E-06	127486.45	inject	-14665.42	-18665.08
	0.000166667	0.000005	142196.425	inject	-14065.471	-17998.47



Gambar Grifik perbandingan Tekanan pada Q air = 0.1 lpm



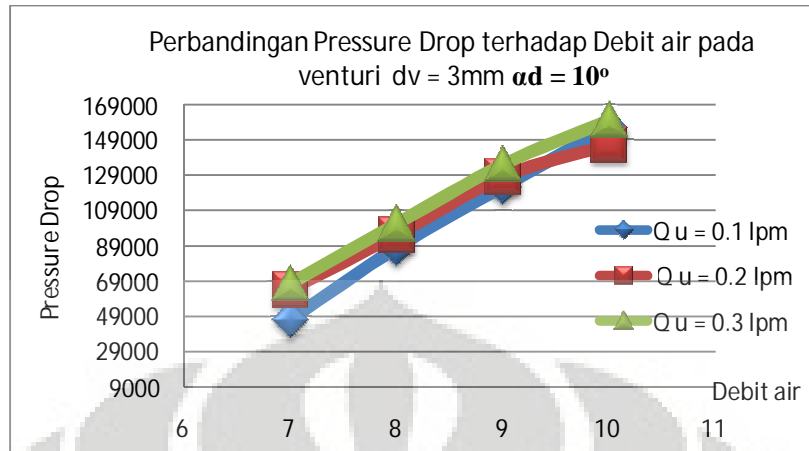
Gambar grafik Perbandingan Tekanan pada debit udara 0.2 lpm



Gambar grafik Perbandingan Tekanan pada debit udara 0.3 lpm

- Perbandingan Pressure drop pada venturi  $d_v = 3\text{mm}$   $\alpha_d = 10^\circ$

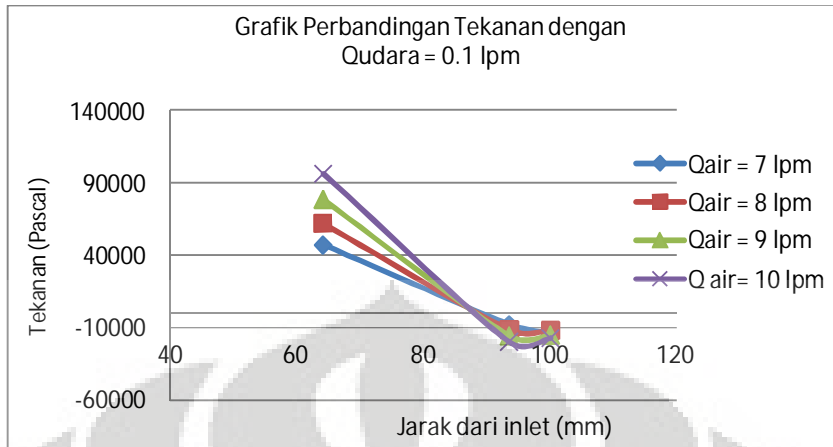




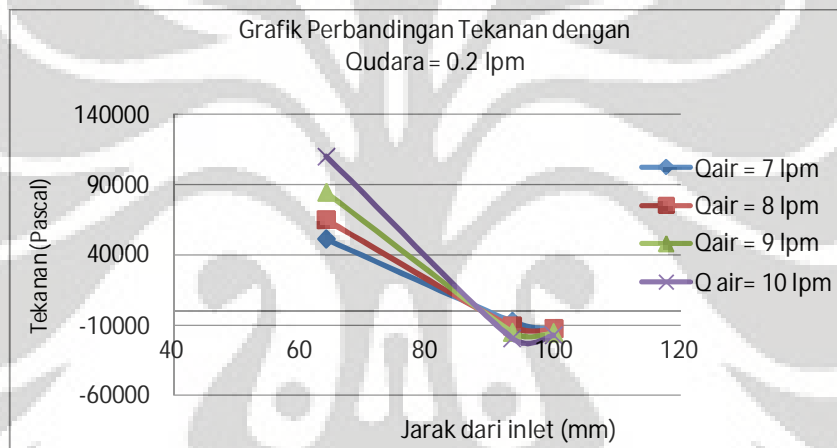
**Lampiran 2. Hasil data tekanan pada venturi dengan  $DV = 8\text{mm}$   $d_v = 3\text{ mm}$   $\alpha d = 15^\circ$**

Tabel data tekanan pada Venturi dengan  $D_v = 8\text{mm}$   $d_v = 3\text{mm}$  dan sudut diverging  $15^\circ$

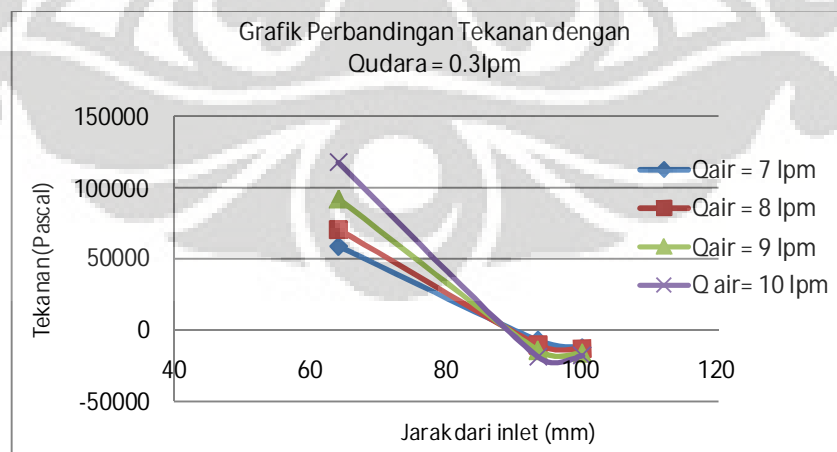
No	Q air(m <sup>3</sup> /s)	Q udara (m <sup>3</sup> /s)	P1 (Pascal)	P2	P3 (Pascal)	P4 (Pascal)
1	0.000116667	1.66667E-06	47071.92	inject	-7732.676	-13332.2
	0.000116667	3.33333E-06	50994.58	inject	-7466.032	-13065.556
	0.000116667	0.000005	58839.9	inject	-7199.388	-12265.624
2	0.000133333	1.66667E-06	61781.895	inject	-11465.692	-11732.336
	0.000133333	3.33333E-06	64723.89	inject	-10932.404	-12532.268
	0.000133333	0.000005	70607.88	inject	-10399.116	-13065.556
3	0.00015	1.66667E-06	78453.2	inject	-15465.352	-14932.064
	0.00015	3.33333E-06	84337.19	inject	-14932.064	-15465.352
	0.00015	0.000005	92182.51	inject	-14132.132	-15998.64
4	0.000166667	1.66667E-06	96105.17	inject	-19864.978	-17065.216
	0.000166667	3.33333E-06	109834.48	inject	-19465.012	-17331.86
	0.000166667	0.000005	117679.8	inject	-18665.08	-17865.148



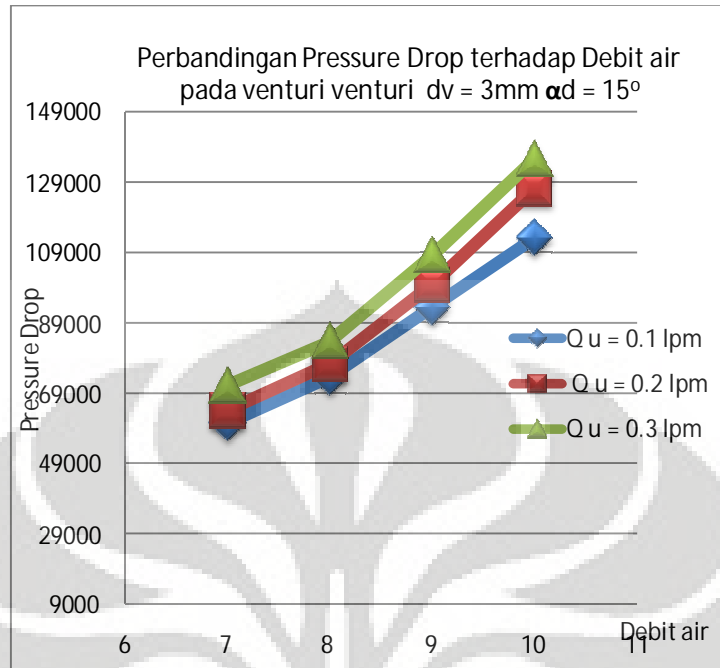
Gambar grafik perbandingan Tekanan pada Q air = 0.1 lpm



Gambar grafik perbandingan Tekanan pada Q air = 0.2 lpm



Gambar grafik perbandingan Tekanan pada Q air = 0.3 lpm

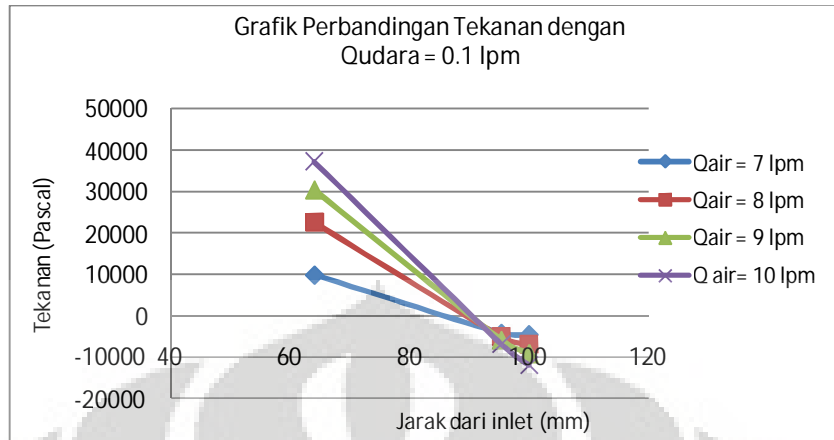


Gambar grafik perbandingan Pressure drop pada venturi  $d_v = 3\text{mm}$   $\alpha_d = 15^\circ$

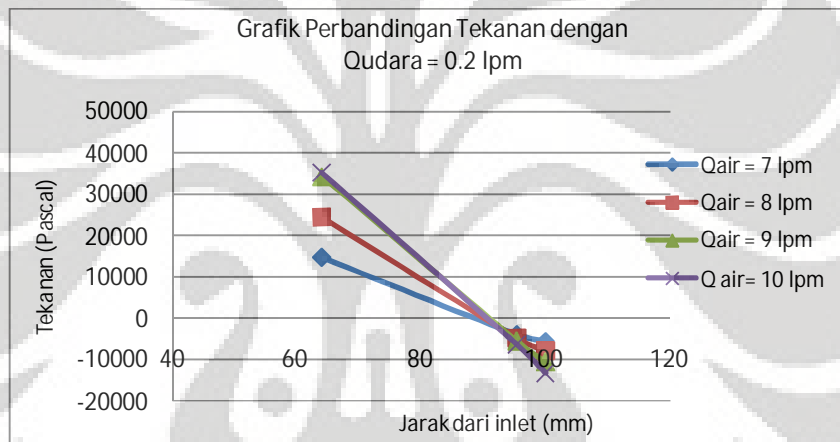
### Lampiran 3. Hasil data tekanan pada venturi dengan $DV = 8\text{mm}$ $d_v = 4\text{mm}$ $\alpha_d = 10^\circ$

Tabel tekanan pada Venturi dengan  $DV = 8\text{mm}$   $d_v = 4\text{mm}$  dan sudut sebesar  $10^\circ$ .

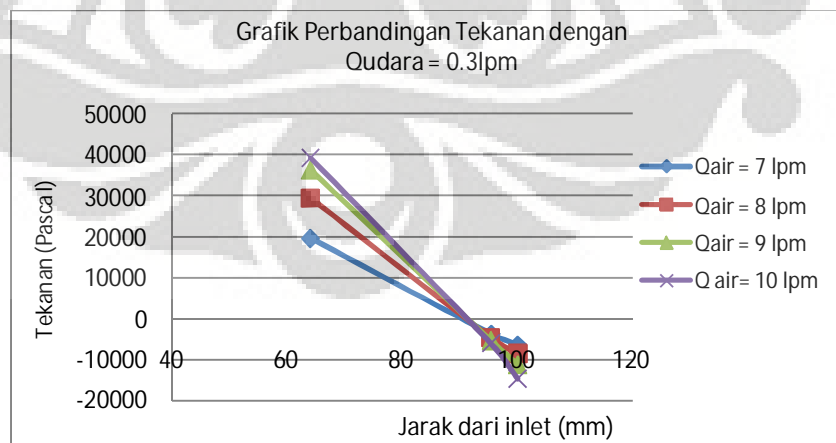
No	Q air(m <sup>3</sup> /s)	Q udara (m <sup>3</sup> /s)	P1 (Pascal)	P2	P3 (Pascal)	P4 (Pascal)
1	0.000116667	1.66667E-06	9806.65	inject	-4266.304	-4532.948
	0.000116667	3.33333E-06	14709.975	inject	-3999.66	-5599.524
	0.000116667	0.000005	19613.3	inject	-3733.016	-6399.456
2	0.000133333	1.66667E-06	22555.295	inject	-5066.236	-6932.744
	0.000133333	3.33333E-06	24516.625	inject	-4799.592	-7865.998
	0.000133333	0.000005	29419.95	inject	-4666.27	-8532.608
3	0.00015	1.66667E-06	30400.615	inject	-5866.168	-9199.218
	0.00015	3.33333E-06	34323.275	inject	-5599.524	-10665.76
	0.00015	0.000005	36284.605	inject	-5332.88	-11199.048
4	0.000166667	1.66667E-06	37265.27	inject	-6932.744	-11998.98
	0.000166667	3.33333E-06	35303.94	inject	-6399.456	-13332.2
	0.000166667	0.000005	39226.6	inject	-5999.49	-14665.42



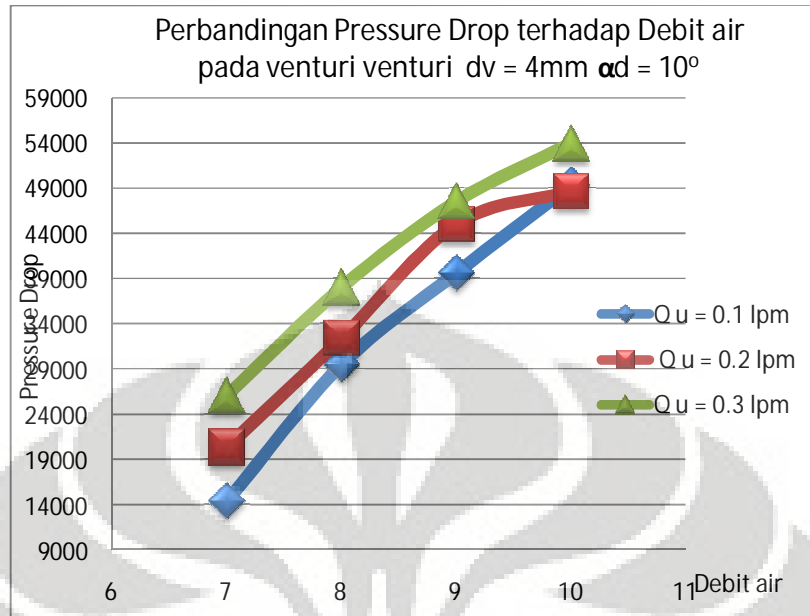
Gambar grafik perbandingan Tekanan pada Q air = 0.1 lpm



Gambar grafik perbandingan Tekanan pada Q air = 0.2 lpm



Gambar grafik Perbandingan Tekanan pada Q air = 0.3 lpm

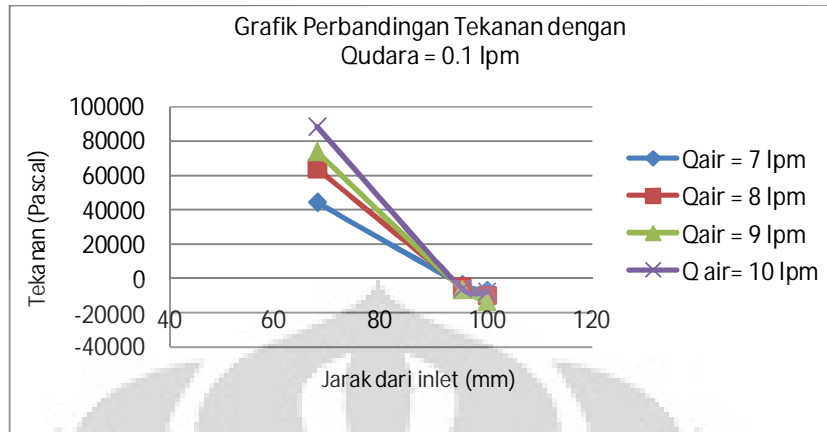


Gambar grafik perbandingan Pressure drop pada venturi  $d_v = 4\text{mm}$   $\alpha d = 10^\circ$

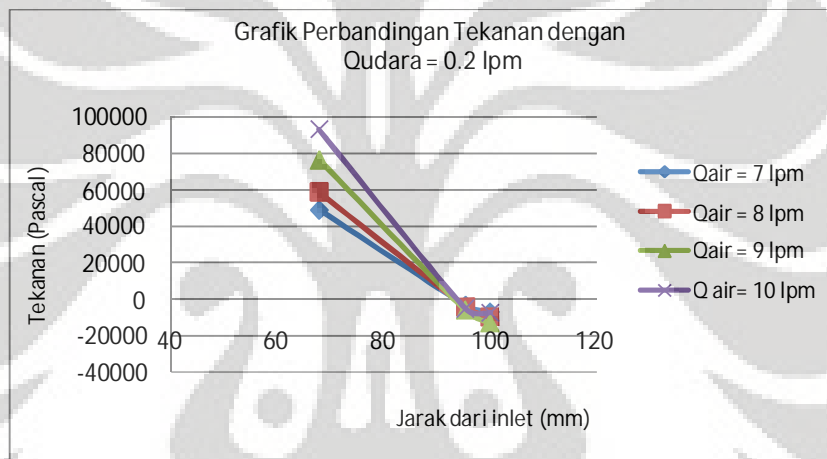
**Lampiran 4. Hasil data tekanan pada venturi dengan  $DV = 8\text{mm}$   $d_v = 4\text{mm}$   $\alpha d = 15^\circ$**

Tabel tekanan pada Venturi dengan  $DV = 8\text{mm}$   $d_v = 4\text{mm}$  dan sudut sebesar  $15^\circ$

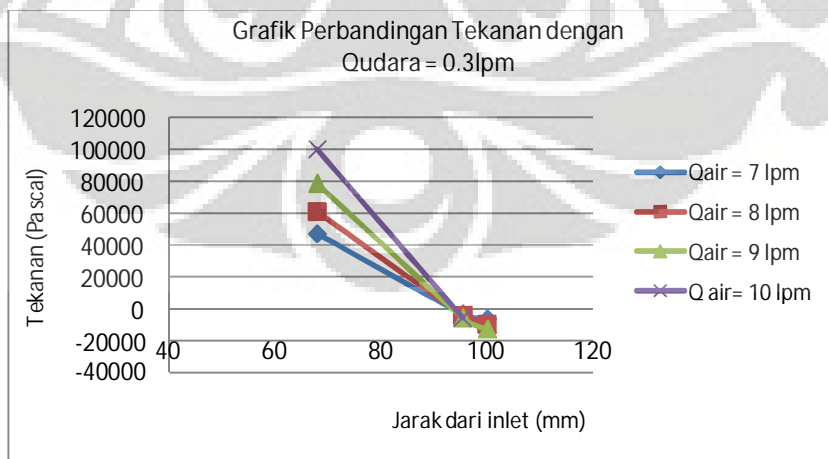
No	Q air(m <sup>3</sup> /s)	Q udara (m <sup>3</sup> /s)	P1 (Pascal)	P2	P3 (Pascal)	P4(Pascal)
1	0.000116667	1.66667E-06	44129.925	inject	-3599.694	-7066.066
	0.000116667	3.33333E-06	49033.25	inject	-3333.05	-6932.744
	0.000116667	0.000005	47071.92	inject	-3199.728	-6666.1
2	0.000133333	1.66667E-06	63743.225	inject	-4666.27	-9999.15
	0.000133333	3.33333E-06	58839.9	inject	-4266.304	-9732.506
	0.000133333	0.000005	60801.23	inject	-3999.66	-9532.523
3	0.00015	1.66667E-06	73549.875	inject	-6399.456	-13332.2
	0.00015	3.33333E-06	76491.87	inject	-5999.49	-13065.556
	0.00015	0.000005	78453.2	inject	-5599.524	-12665.59
4	0.000166667	1.66667E-06	88259.85	inject	-5999.49	-7999.32
	0.000166667	3.33333E-06	93163.175	inject	-5332.88	-7332.71
	0.000166667	0.000005	100027.83	inject	-5599.524	-7066.066



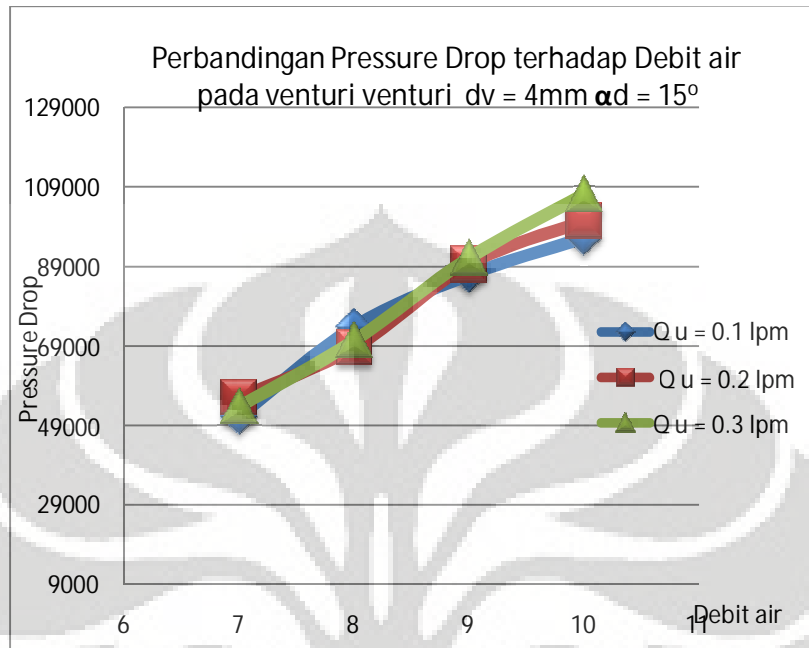
Gambar grafik perbandingan Tekanan pada Q air = 0.1 lpm



Gambar grafik perbandingan Tekanan pada Q air = 0.2 lpm



Gambar grafik perbandingan Tekanan pada Q air = 0.3 lpm

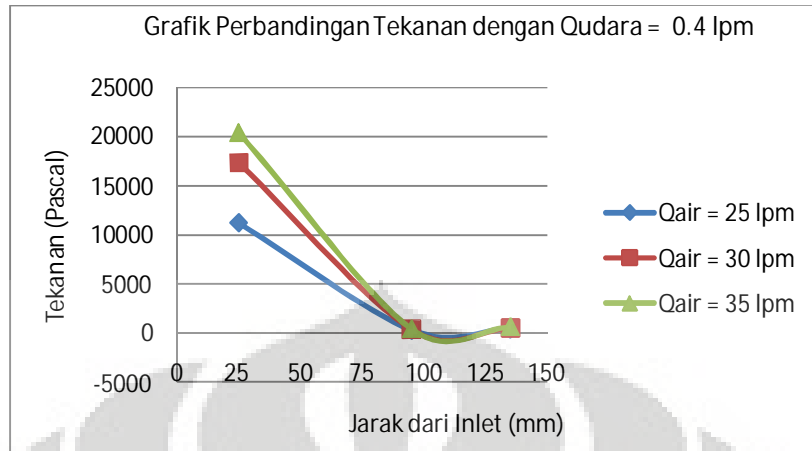


Gambar grafik perbandingan Pressure drop pada venturi  $d_v = 4\text{mm}$   $\alpha_d = 15^\circ$

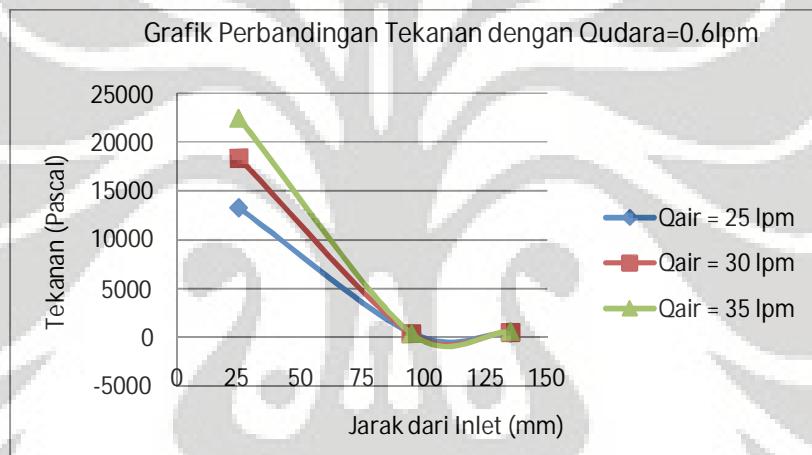
### Lampiran 5. Hasil data tekanan pada Spherical Ball dengan diameter bola 24 mm

Tabel tekanan pada *Microbubble Spherical Ball* dengan diameter bola 24 mm.

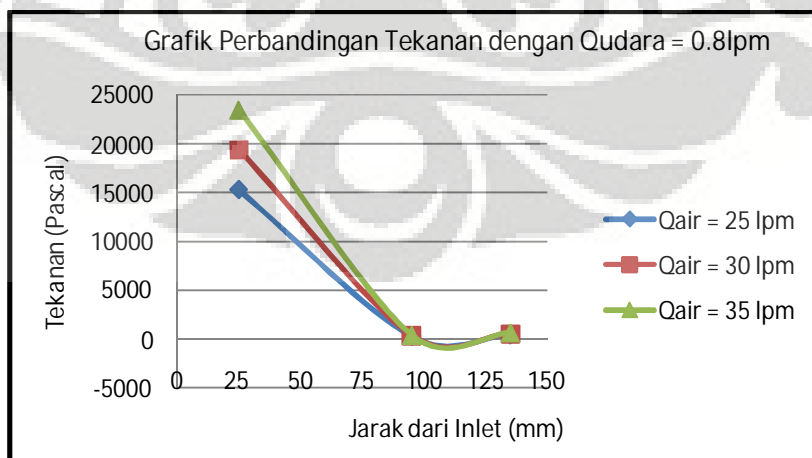
No	Q air (m <sup>3</sup> /s)	Q udara (m <sup>3</sup> /s)	P1 (Pascal)	P2	P3 (Pascal)	P4 (Pascal)
1	0.000416667	6.66667E-06	11216.87834	inject	284.3856	431.4816
	0.000416667	0.00001	13256.31077	inject	279.4824	421.6752
	0.000416667	1.33333E-05	15295.74319	inject	264.7728	431.4816
2	0.0005	6.66667E-06	17335.17562	inject	353.0304	529.5456
	0.0005	0.00001	18354.89183	inject	343.224	529.5456
	0.0005	1.33333E-05	19374.60805	inject	338.3208	519.7392
3	0.000583333	6.66667E-06	20394.32426	inject	426.5784	627.6096
	0.000583333	0.00001	22433.75669	inject	416.772	627.6096
	0.000583333	1.33333E-05	23453.4729	inject	411.8688	627.6096



Gambar grafik perbandingan Tekanan pada Q air = 0.4 lpm

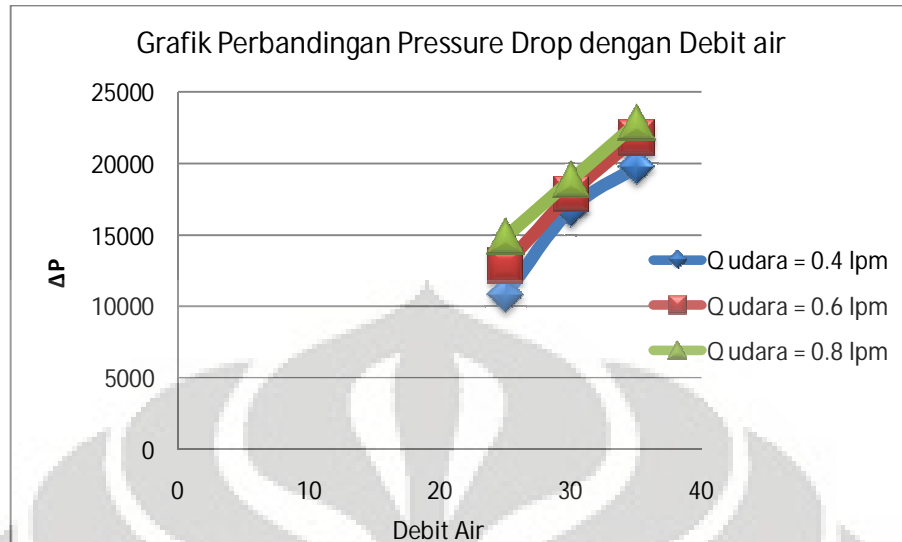


Gambar grafik Perbandingan Tekanan pada Q air = 0.6 lpm



Gambar grafik Perbandingan Tekanan pada Q air = 0.8 lpm



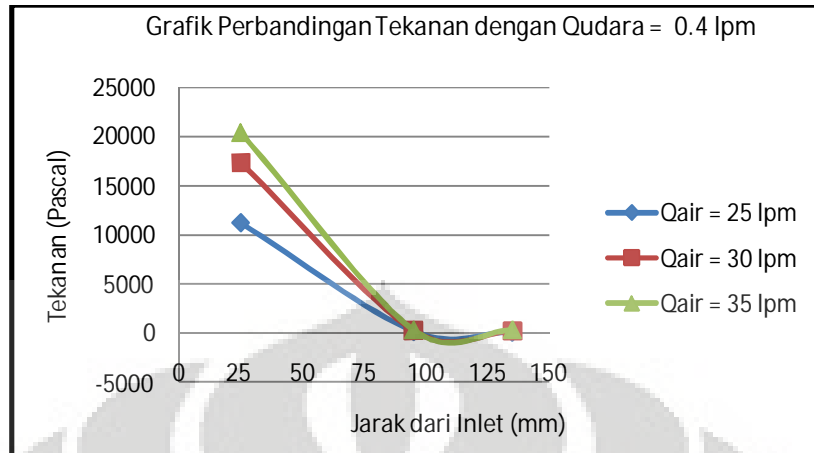


Gambar grafik pressure drop pada spherical all dengan diameter bola 24mm

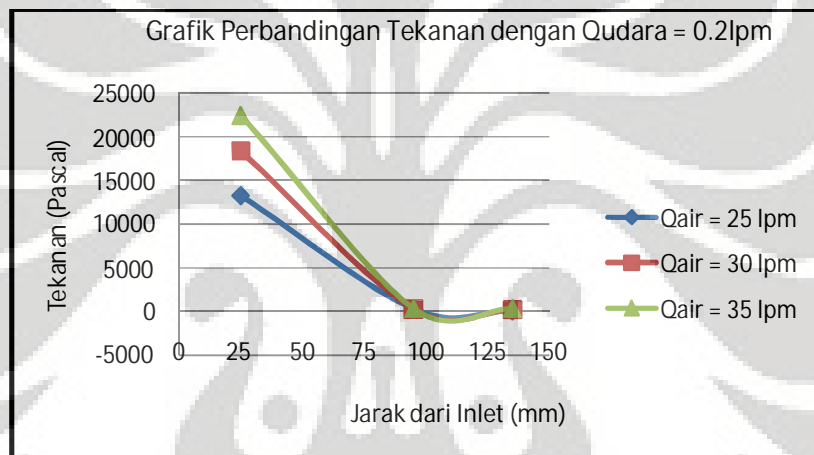
### Lampiran 6. Hasil data tekanan pada Spherical Ball dengan diameter bola 26 mm

Tabel tekanan pada Microbubble Spherical Ball dengan diameter bola 26 mm.

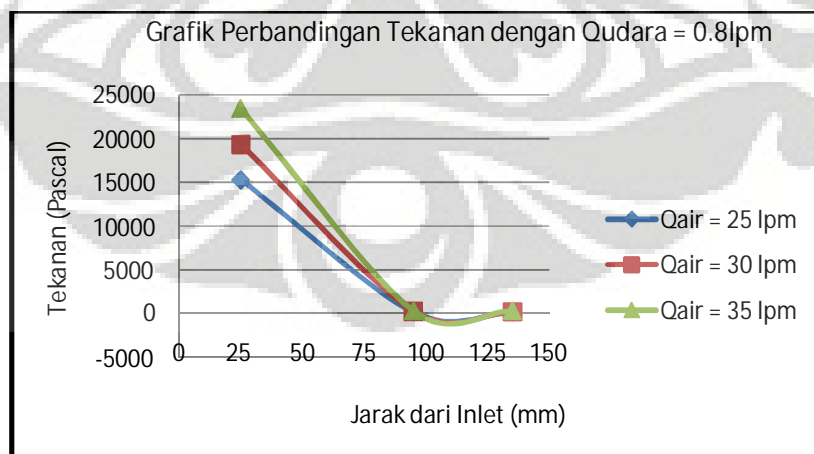
No	Q air (m3/s)	Q udara (m3/s)	P1 (Pascal)	P2	P3 (Pascal)	P4 (Pascal)
1	0.000416667	6.66667E-06	11216.87834	inject	176.5152	107.8704
	0.000416667	0.00001	13256.31077	inject	176.5152	98.064
	0.000416667	1.33333E-05	15295.74319	inject	176.5152	107.8704
2	0.0005	6.66667E-06	17335.17562	inject	235.3536	186.3216
	0.0005	0.00001	18354.89183	inject	235.3536	181.4184
	0.0005	1.33333E-05	19374.60805	inject	235.3536	181.4184
3	0.000583333	6.66667E-06	20394.32426	inject	318.708	323.6112
	0.000583333	0.00001	22433.75669	inject	318.708	323.6112
	0.000583333	1.33333E-05	23453.4729	inject	318.708	323.6112



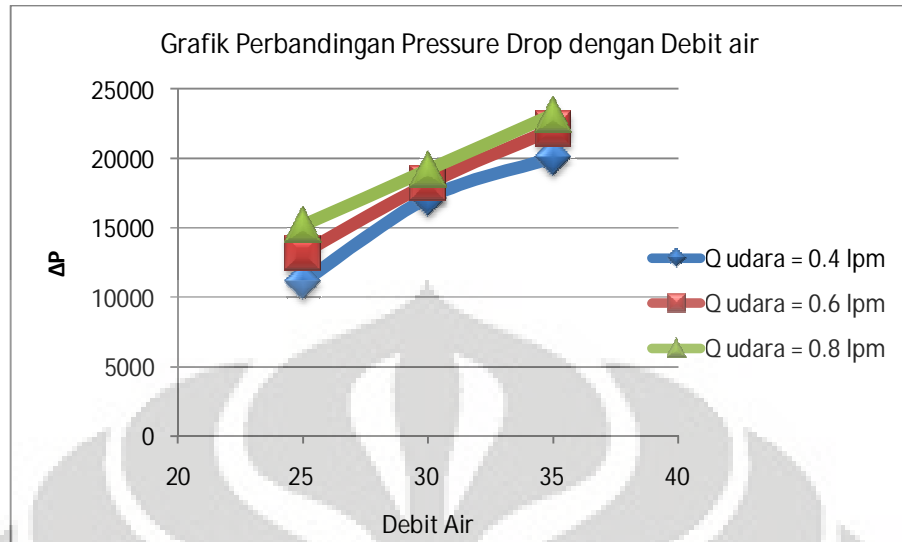
Gambar grafik Perbandingan Tekanan pada Q air = 0.4 lpm



Gambar grafik Perbandingan Tekanan pada Q air = 0.6 lpm



Gambar grafik Perbandingan Tekanan pada Q air = 0.8 lpm

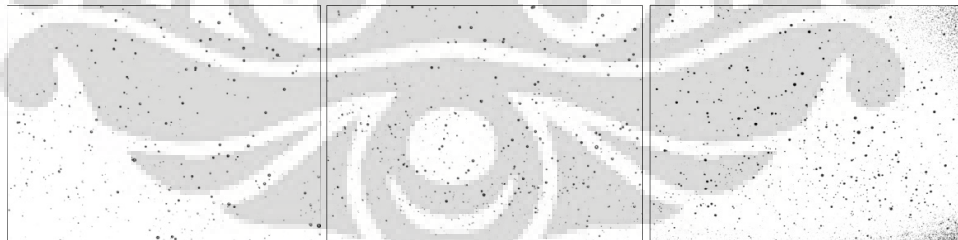


Gambar grafik pressure drop pada spherical all dengan diameter bola 26 mm

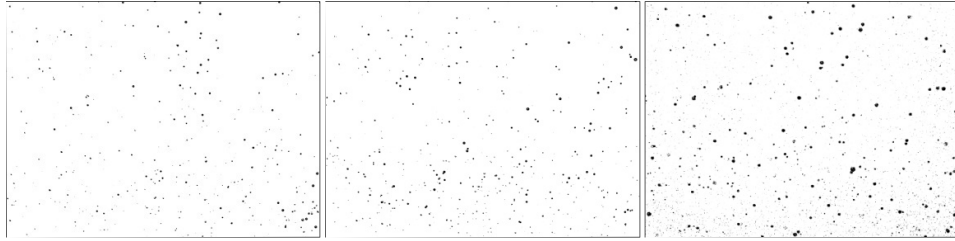
Lampiran 7. Gambar hasil *image processing* venturi dengan  $dv = 2$   $\alpha_d = 10^\circ$ .



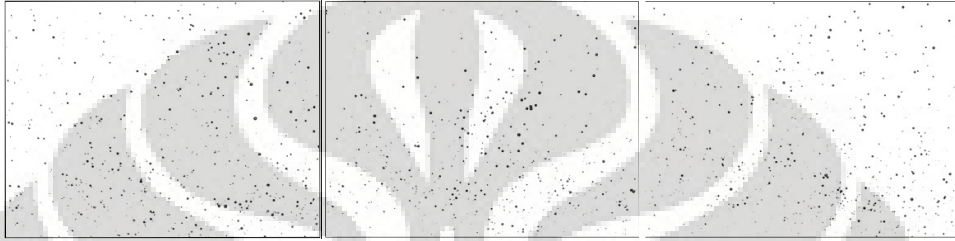
Gambar  $dv = 2$   $\alpha_d = 10^\circ$   $Q_{air} = 7 \text{ lpm}$



Gambar  $dv = 2$   $\alpha_d = 10^\circ$   $Q_{air} = 8 \text{ lpm}$

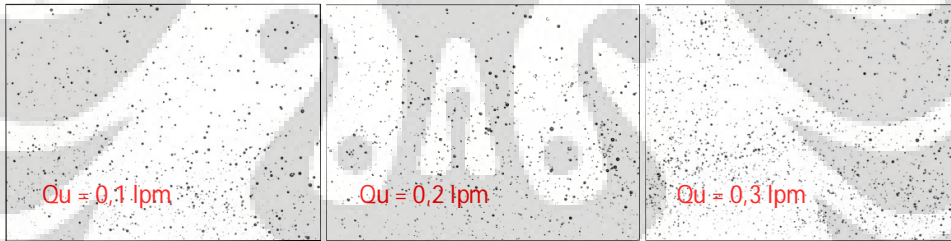


Gambar  $dv = 2$   $\alpha_d = 10^\circ$   $Q_{air} = 9 \text{ lpm}$

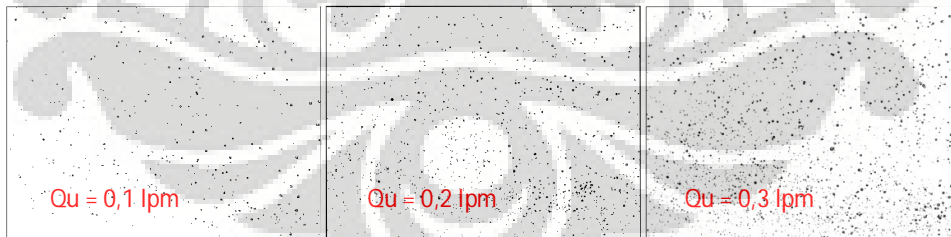


Gambar  $dv = 2$   $\alpha_d = 10^\circ$   $Q_{air} = 10 \text{ lpm}$ ,

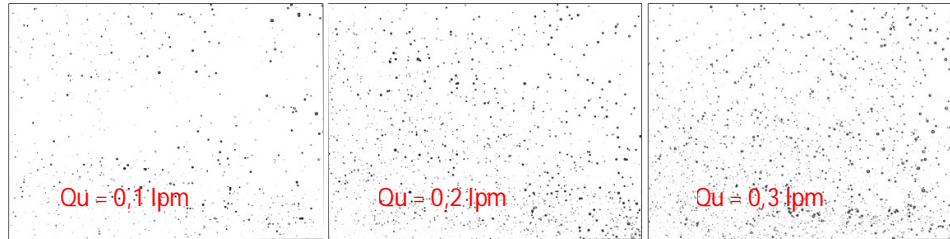
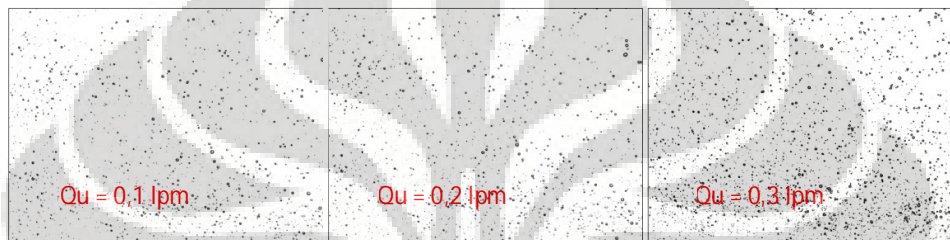
**Lampiran 8. Hasil Olah data visual venturi dengan  $dv = 3$   $\alpha_d = 10^\circ$ .**



Gambar  $dv = 3$   $\alpha_d = 10^\circ$   $Q_{air} = 7 \text{ lpm}$



Gambar  $dv = 3$   $\alpha_d = 10^\circ$   $Q_{air} = 8 \text{ lpm}$

Gambar  $dv = 3$   $\alpha_d = 10^\circ$   $Q_{air} = 9 \text{ lpm}$ Gambar  $dv = 3$   $\alpha_d = 10^\circ$   $Q_{air} = 10 \text{ lpm}$ Tabel statistik deskriptif dari venturi dengan  $DV = 8 \text{ mm}$ ,  $dv=3 \text{ mm}$ ,  $\alpha_d = 10^\circ$ 

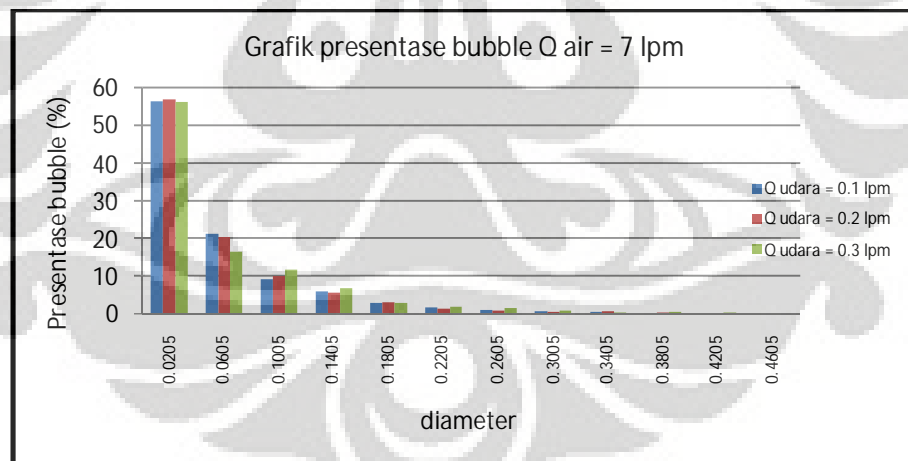
Keterangan	7lpm			8lpm		
	Qu = 0.1	Qu = 0.2	Qu = 0.3	Qu = 0.1	Qu = 0.2	Qu = 0.3
Mean	0.055595613	0.059320019	0.056975973	0.055030368	0.060638794	0.071437348
Min	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793
Max	0.7352071	0.7884615	0.5576923	0.8446746	0.7884615	0.9659763
SD	0.067734499	0.074492253	0.071634269	0.084536434	0.088410265	0.1050197
Modus	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793

Keterangan	9lpm			10lpm		
	Qu = 0.1	Qu = 0.2	Qu = 0.3	Qu = 0.1	Qu = 0.2	Qu = 0.3
Mean	0.05950382	0.064058378	0.069589793	0.059892357	0.061926781	0.056693896
Min	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793
Max	0.9704142	0.9112426	0.9970414	1.1183432	1.1405325	1.1168639
SD	0.094395602	0.100466795	0.099355315	0.096259805	0.107019906	0.110957655
Modus	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793

Pengolahan Data untuk venturi dengan  $dv = 3 \text{ mm}$   $\alpha_d = 10^\circ$  dengan  $Q_a = 7 \text{ lpm}$ 

KELAS	Interval	Qudara = 0.1 lpm		Qudara = 0.2 lpm		Qudara = 0.3 lpm	
		Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase
1	0.001 - 0.04	3632	56.41503573	3701	56.82481191	2576	65.56375668

2	0.041 - 0.08	1367	21.23330227	1321	20.2825119	671	17.07813693
3	0.081 - 0.12	589	9.148803976	649	9.964686013	285	7.253754136
5	0.161 - 0.2	187	2.904628767	199	3.055427606	73	1.85797913
6	0.201 - 0.24	108	1.677539609	86	1.320436051	45	1.1453296
7	0.241 - 0.28	63	0.978564772	54	0.829111009	41	1.043522525
8	0.281 - 0.32	42	0.652376514	30	0.460617227	23	0.585390685
9	0.321 - 0.36	29	0.45045045	45	0.690925841	15	0.381776533
10	0.361 - 0.4	10	0.155327742	21	0.322432059	22	0.559938916
11	0.401 - 0.44	12	0.18639329	8	0.122831261	20	0.509035378
12	0.441 - 0.48	3	0.046598322	16	0.245662521	5	0.127258844
13	0.481 - 0.52	3	0.046598322	9	0.138185168	3	0.076355307
14	0.521 - 0.56	3	0.046598322	4	0.06141563	2	0.050903538
15	0.561 - 0.6	2	0.031065548	2	0.030707815	2	0.050903538
16	0.601 - 0.64	0	0	0	0	0	0
17	0.641 - 0.68	2	0.031065548	0	0	0	0
18	0.681 - 0.72	0	0	0	0	1	0.025451769
19	0.721 - 0.76	0	0	1	0.015353908	0	0
20	0.761 - 0.8	0	0	0	0	0	0
21	0.801 - 0.84	0	0	0	0	2	0.050903538
22	0.841 - 0.88	1	0.015532774	0	0	1	0.025451769
23	0.881 - 0.92	0	0	0	0	0	0
Sum		6438	100	6513	100	3929	100

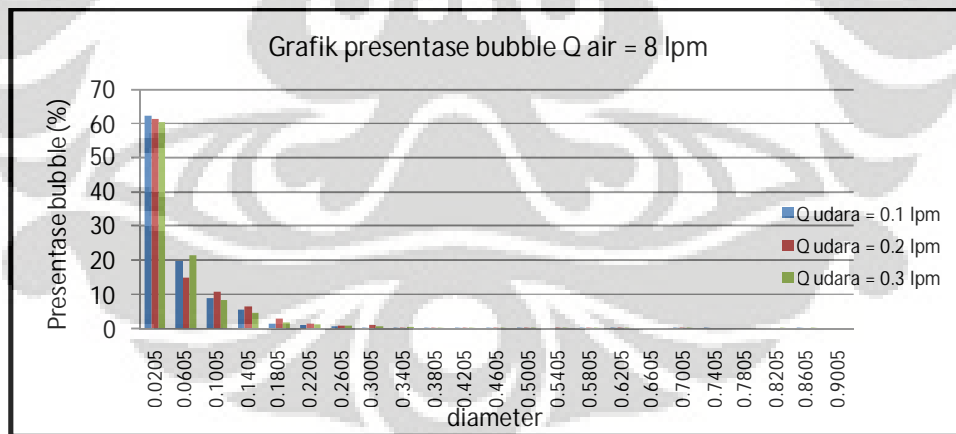


Gambar grafik persentase bubble pada Q air = 7 lpm

Pengolahan Data untuk venturi dengan  $d_v = 3\text{mm}$   $\alpha_d = 10^\circ$  dengan  $Q_a = 8\text{lpm}$

KELAS	Interval	Qudara = 0.1 lpm		Qudara = 0.2 lpm		Qudara = 0.3 lpm	
		Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase
1	0.001 - 0.04	3948	60.29322	4327	61.34108	5023	60.45979779

2	0.041 - 0.08	1459	22.28161	1045	14.81429	1769	21.2927299
3	0.081 - 0.12	563	8.598045	763	10.81656	694	8.353394319
4	0.121 - 0.16	349	5.329872	452	6.407712	387	4.658160809
5	0.161 - 0.2	94	1.435553	196	2.778565	149	1.793452094
6	0.201 - 0.24	55	0.839951	99	1.403459	98	1.179585941
7	0.241 - 0.28	35	0.534514	48	0.680465	59	0.710158883
8	0.281 - 0.32	11	0.16799	67	0.949816	43	0.517573423
9	0.321 - 0.36	9	0.137447	19	0.269351	32	0.38517092
10	0.361 - 0.4	6	0.091631	15	0.212645	21	0.252768416
11	0.401 - 0.44	8	0.122175	9	0.127587	16	0.19258546
12	0.441 - 0.48	1	0.015272	1	0.014176	6	0.072219547
13	0.481 - 0.52	1	0.015272	7	0.099234	2	0.024073182
14	0.521 - 0.56	0	0	2	0.028353	1	0.012036591
15	0.561 - 0.6	3	0.045816	1	0.014176	3	0.036109774
16	0.601 - 0.64	1	0.015272	2	0.028353	1	0.012036591
17	0.641 - 0.68	0	0	0	0	0	0
18	0.681 - 0.72	1	0.015272	1	0.014176	1	0.012036591
19	0.721 - 0.76	2	0.030544	0	0	0	0
20	0.761 - 0.8	0	0	0	0	0	0
21	0.801 - 0.84	0	0	0	0	2	0.024073182
22	0.841 - 0.88	2	0.030544	0	0	1	0.012036591
23	0.881 - 0.92	0	0	0	0	0	0
Sum		6548	100	7054	100	8308	100



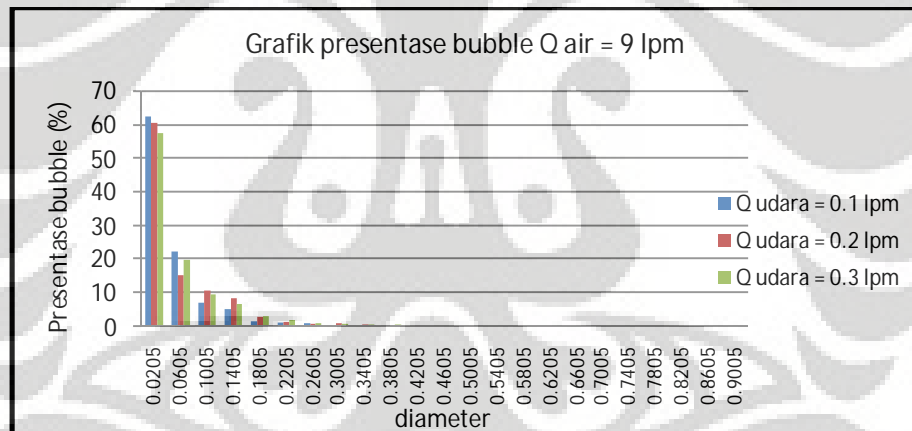
Gambar grafik persentase bubble pada Q air = 8 lpm

Pengolahan Data untuk venturi dengan  $d_v = 3\text{mm}$   $\alpha_d = 10^\circ$  dengan  $Q_a = 9\text{lpm}$

KELAS	Interval	Q udara = 0.1 lpm		Q udara = 0.2 lpm		Q udara = 0.3 lpm	
		Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase
1	0.001 - 0.04	4490	62.569677	5563	60.599129	5366	57.4887508
2	0.041 - 0.08	1588	22.12932	1395	15.196078	1826	19.56288837



3	0.081	-	0.12	490	6.8283166	958	10.43573	879	9.417184487	
4	0.121	-	0.16	349	4.8634337	745	8.1154684	599	6.417398757	
5	0.161	-	0.2	89	1.2402453	231	2.5163399	274	2.935504607	
6	0.201	-	0.24	73	1.0172798	105	1.1437908	153	1.639168631	
7	0.241	-	0.28	56	0.780379	46	0.5010893	78	0.835654596	
8	0.281	-	0.32	9	0.1254181	63	0.6862745	51	0.546389544	
9	0.321	-	0.36	7	0.0975474	34	0.3703704	44	0.4713949	
10	0.361	-	0.4	9	0.1254181	21	0.2287582	29	0.310692093	
11	0.401	-	0.44	8	0.1114827	7	0.0762527	20	0.214270409	
12	0.441	-	0.48	0	0	2	0.0217865	7	0.074994643	
13	0.481	-	0.52	0	0	1	0.0108932	0	0	
14	0.521	-	0.56	0	0	3	0.0326797	0	0	
15	0.561	-	0.6	0	0	0	0	2	0.021427041	
16	0.601	-	0.64	3	0.041806	0	0	0	0	
17	0.641	-	0.68	1	0.0139353	1	0.0108932	1	0.01071352	
18	0.681	-	0.72	1	0.0139353	2	0.0217865	1	0.01071352	
19	0.721	-	0.76	0	0	2	0.0217865	1	0.01071352	
20	0.761	-	0.8	2	0.0278707	0	0	2	0.021427041	
21	0.801	-	0.84	0	0	1	0.0108932	0	0	
22	0.841	-	0.88	0	0	0	0	1	0.01071352	
23	0.881	-	0.92	1	0.0139353	0	0	0	0	
				Sum	7176	100	9180	100	9334	100



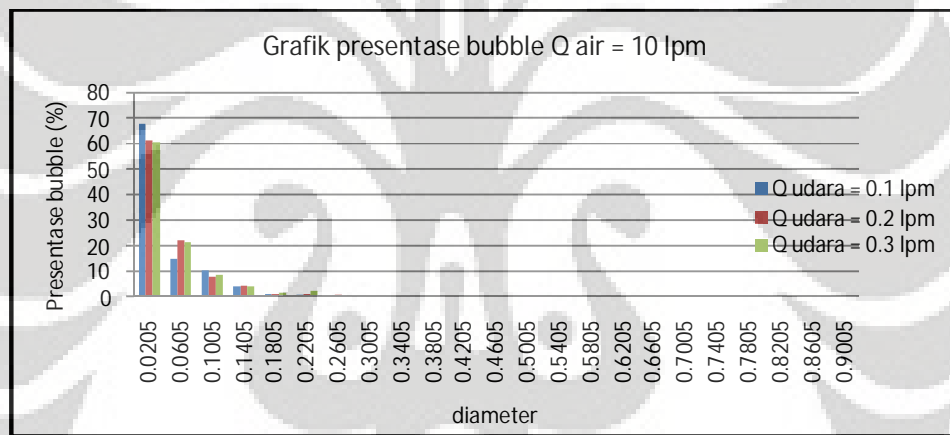
Gambar grafik persentase bubble pada Q air = 9 lpm

Pengolahan Data untuk venturi dengan  $d_v = 3\text{mm}$   $\alpha_d = 10^\circ$  dengan  $Q_a = 10\text{lpm}$

KELAS	Interval	Qudara = 0.1 lpm		Qudara = 0.2 lpm		Qudara = 0.3 lpm	
		Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase
1	0.001 - 0.04	5776	67.602996	6193	61.268302	7132	60.486812
2	0.041 - 0.08	1269	14.852528	2231	22.071626	2521	21.380714
3	0.081 - 0.12	890	10.416667	781	7.7265532	1004	8.514969
4	0.121 - 0.16	334	3.909176	438	4.3332014	471	3.9945721
5	0.161 - 0.2	91	1.0650749	119	1.1772853	194	1.6453227
6	0.201 - 0.24	65	0.7607678	98	0.9695291	283	2.4001357

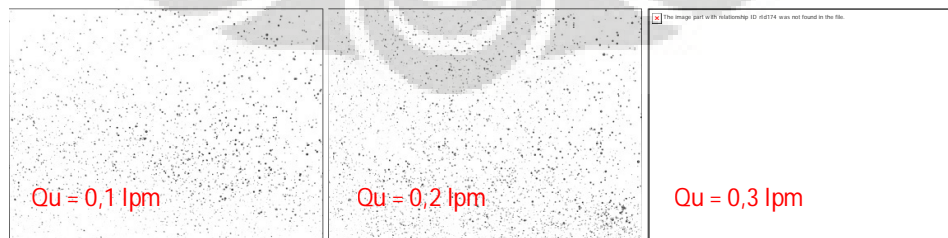


7	0.241 - 0.28	48	0.5617978	74	0.7320934	52	0.4410143
8	0.281 - 0.32	20	0.2340824	51	0.5045509	39	0.3307607
9	0.321 - 0.36	15	0.1755618	47	0.4649782	26	0.2205072
10	0.361 - 0.4	11	0.1287453	36	0.3561535	24	0.2035451
11	0.401 - 0.44	9	0.1053371	25	0.2473288	19	0.1611399
12	0.441 - 0.48	5	0.0585206	1	0.0098932	11	0.0932915
13	0.481 - 0.52	1	0.0117041	5	0.0494658	5	0.0424052
14	0.521 - 0.56	0	0	2	0.0197863	1	0.008481
15	0.561 - 0.6	1	0.0117041	0	0	0	0
16	0.601 - 0.64	4	0.0468165	1	0.0098932	3	0.0254431
17	0.641 - 0.68	1	0.0117041	0	0	1	0.008481
18	0.681 - 0.72	2	0.0234082	1	0.0098932	0	0
19	0.721 - 0.76	0	0	0	0	2	0.0169621
20	0.761 - 0.8	1	0.0117041	2	0.0197863	1	0.008481
21	0.801 - 0.84	0	0	0	0	0	0
22	0.841 - 0.88	1	0.0117041	1	0.0098932	2	0.0169621
23	0.881 - 0.92	0	0	2	0.0197863	0	0
Sum		8544	100	10108	100	11791	100

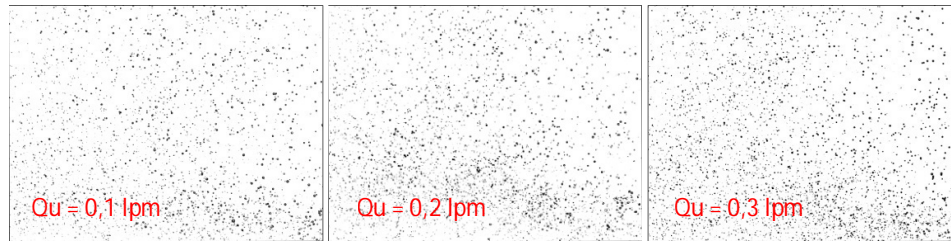
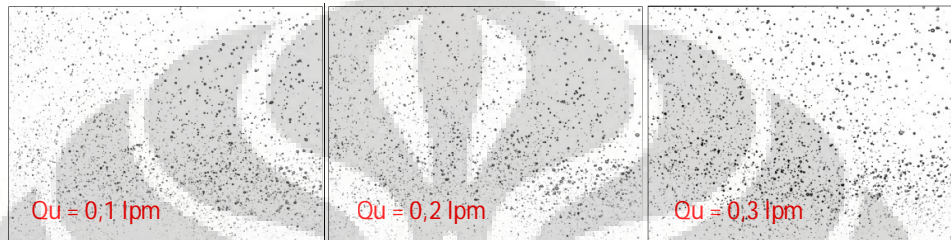
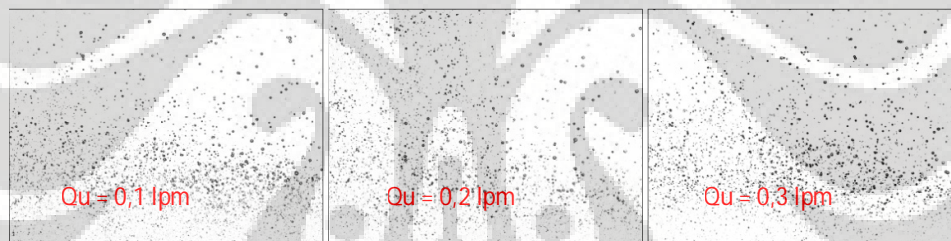


Gambar grafik persentase bubble pada Q air = 10 lpm

**Lampiran 9. Hasil Pengolahan Data visual untuk venturi dengan  $d_v = 3\text{mm}$   
 $\alpha_d = 15^\circ$**



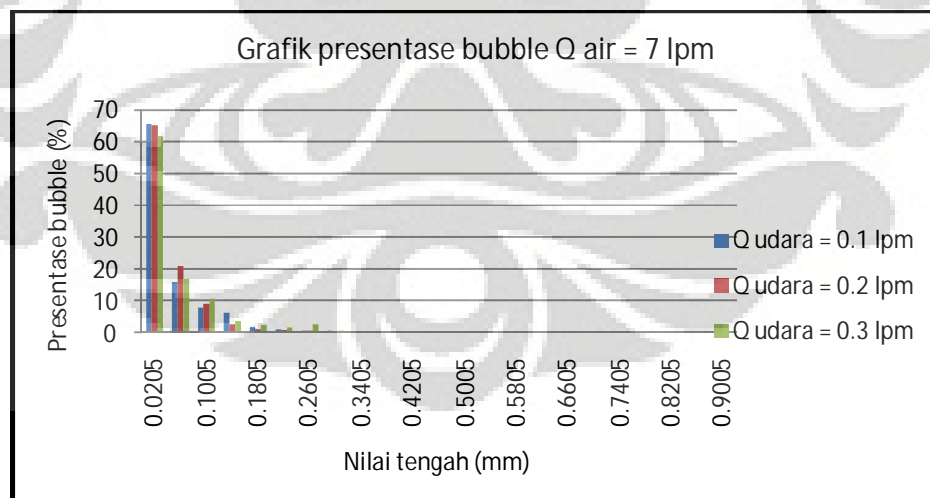
Gambar  $d_v = 3$   $\alpha_d = 15^\circ$   $Q_{air} = 7\text{lpm}$

Gambar  $dv = 3$   $\alpha_d = 15^\circ$   $Q_{air} = 8$  lpmGambar  $dv = 3$   $\alpha_d = 15^\circ$   $Q_{air} = 9$  lpmGambar  $dv = 3$   $\alpha_d = 15^\circ$   $Q_{air} = 10$  lpm,Tabel statistik deskriptif pada venturi dengan  $DV = 8$  mm,  $dv = 3$  mm  $\alpha_d = 15^\circ$ 

Keterangan	7 lpm			8 lpm		
	$Q_u = 0.1$	$Q_u = 0.2$	$Q_u = 0.3$	$Q_u = 0.1$	$Q_u = 0.2$	$Q_u = 0.3$
Mean	0.05659107	0.067500143	0.060154371	0.059028518	0.060678869	0.067348928
Min	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793
Max	1.1286982	1.0295858	0.7692308	1.0118343	1.0295858	1.0946746
SD	0.085033112	0.090024542	0.078155183	0.084558016	0.080903603	0.084381316
Modus	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793
9 lpm			10 lpm			
$Q_{udara} = 0.1$	$Q_{udara} = 0.2$	$Q_{udara} = 0.3$	$Q_{udara} = 0.1$	$Q_{udara} = 0.2$	$Q_{udara} = 0.3$	
0.056148407	0.063263739	0.070246508	0.056257336	0.063782968	0.071165014	
0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	
0.9230769	1.5014793	1.5857988	1.510355	1.433432	1.7544379	
0.084492708	0.098628321	0.113793579	0.094928767	0.106724796	0.125319422	
0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	0.0014793	
13714	13876	12911	14320	13335	13724	

Pengolahan Data untuk venturi dengan  $dv = 3\text{mm}$   $\alpha_d = 10^\circ$  dengan  $Q_a = 7 \text{ lpm}$

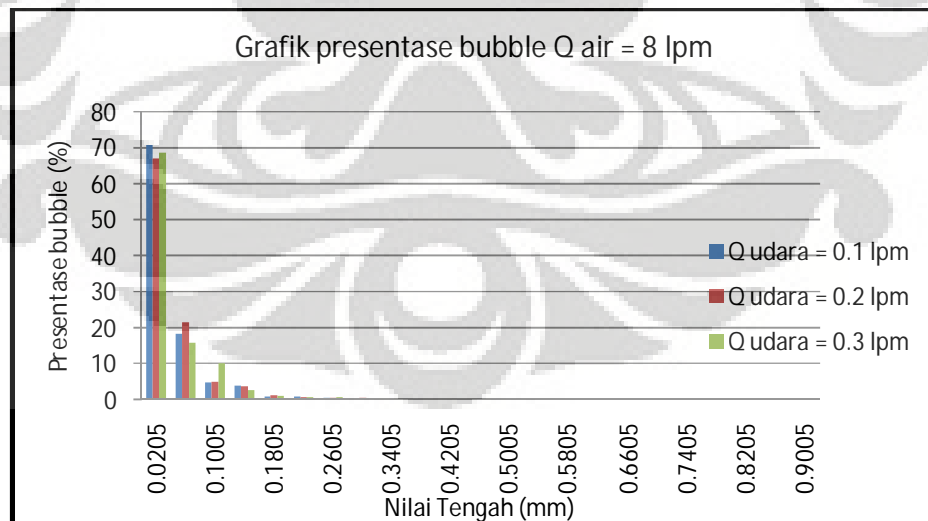
KELAS	Interval	Qudara = 0.1 lpm		Qudara = 0.2 lpm		Qudara = 0.3 lpm	
		Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase
1	0.001 - 0.04	7847	65.62682947	7991	65.07858946	8703	61.74968072
2	0.041 - 0.08	1903	15.91536339	2556	20.81602736	2357	16.72342841
3	0.081 - 0.12	911	7.618967969	1121	9.129407932	1495	10.60735065
4	0.121 - 0.16	745	6.230659865	290	2.361755843	487	3.45537108
5	0.161 - 0.2	201	1.681023668	105	0.855118495	302	2.142755783
6	0.201 - 0.24	98	0.819603579	75	0.610798925	216	1.53256705
7	0.241 - 0.28	71	0.59379443	53	0.43163124	335	2.376897971
8	0.281 - 0.32	58	0.485071506	21	0.171023699	63	0.446998723
9	0.321 - 0.36	44	0.367985281	18	0.146591742	21	0.148999574
10	0.361 - 0.4	21	0.175629338	14	0.114015799	39	0.276713495
11	0.401 - 0.44	19	0.158902735	7	0.0570079	29	0.205761317
12	0.441 - 0.48	11	0.09199632	12	0.097727828	17	0.120618703
13	0.481 - 0.52	9	0.075269716	6	0.048863914	12	0.085142614
14	0.521 - 0.56	7	0.058543113	5	0.040719928	6	0.042571307
15	0.561 - 0.6	7	0.058543113	1	0.008143986	5	0.035476089
16	0.601 - 0.64	1	0.008363302	1	0.008143986	1	0.007095218
17	0.641 - 0.68	1	0.008363302	2	0.016287971	0	0
18	0.681 - 0.72	0	0	0	0	0	0
19	0.721 - 0.76	1	0.008363302	1	0.008143986	2	0.014190436
20	0.761 - 0.8	0	0	0	0	1	0.007095218
21	0.801 - 0.84	1	0.008363302	0	0	0	0
22	0.841 - 0.88	1	0.008363302	0	0	2	0.014190436
23	0.881 - 0.92	0	0	0	0	1	0.007095218
Sum		11957	100	12279	100	14094	100



Gambar grafik persentase bubble pada  $Q_a = 7 \text{ lpm}$

Pengolahan Data untuk venturi dengan  $d_v = 3\text{mm}$   $\alpha_d = 10^\circ$  dengan  $Q_a = 8\text{ lpm}$

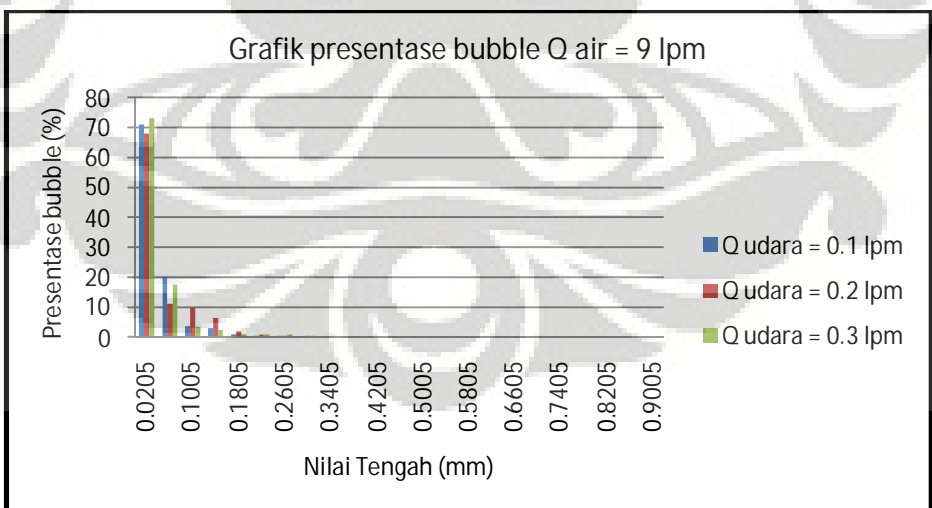
KELAS	Interval	Q udara = 0.1 lpm		Q udara = 0.2 lpm		Q udara = 0.3 lpm	
		Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase
1	0.001 - 0.04	8195	70.738023	9276	67.013437	10021	68.65579611
2	0.041 - 0.08	2109	18.204575	2984	21.557578	2317	15.87421211
3	0.081 - 0.12	561	4.8424687	672	4.8547898	1442	9.879419019
4	0.121 - 0.16	441	3.8066465	501	3.6194192	387	2.651411346
5	0.161 - 0.2	95	0.8200259	155	1.1197804	132	0.904357358
6	0.201 - 0.24	87	0.7509711	91	0.6574194	89	0.609756098
7	0.241 - 0.28	53	0.4574881	59	0.426239	75	0.513839408
8	0.281 - 0.32	13	0.1122141	51	0.3684439	44	0.301452453
9	0.321 - 0.36	7	0.060423	20	0.1444878	29	0.198684571
10	0.361 - 0.4	7	0.060423	14	0.1011415	19	0.13017265
11	0.401 - 0.44	5	0.0431593	8	0.0577951	15	0.102767882
12	0.441 - 0.48	1	0.0086319	3	0.0216732	8	0.054809537
13	0.481 - 0.52	2	0.0172637	1	0.0072244	5	0.034255961
14	0.521 - 0.56	1	0.0086319	0	0	2	0.013702384
15	0.561 - 0.6	2	0.0172637	2	0.0144488	1	0.006851192
16	0.601 - 0.64	1	0.0086319	1	0.0072244	3	0.020553576
17	0.641 - 0.68	0	0	0	0	1	0.006851192
18	0.681 - 0.72	0	0	1	0.0072244	2	0.013702384
19	0.721 - 0.76	3	0.0258956	0	0	0	0
20	0.761 - 0.8	1	0.0086319	2	0.0144488	1	0.006851192
21	0.801 - 0.84	0	0	1	0.0072244	2	0.013702384
22	0.841 - 0.88	0	0	0	0	1	0.006851192
23	0.881 - 0.92	1	0.0086319	0	0	0	0
	Sum	11585	100	13842	100	14596	100



Gambar grafik persentase bubble pada Q air = 8 lpm

Pengolahan Data untuk venturi dengan  $dv = 3\text{mm}$   $\alpha_d = 10^\circ$  dengan  $Q_a = 9 \text{ lpm}$

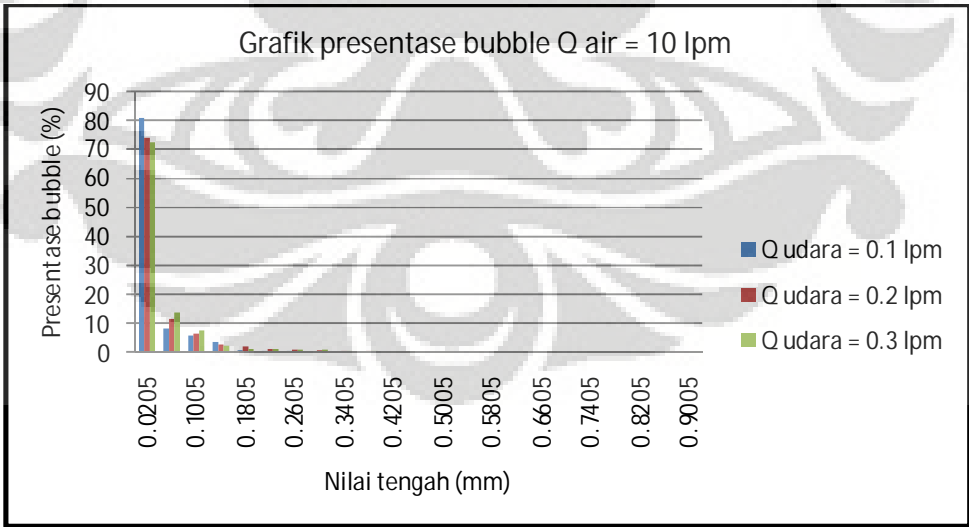
KELAS	Interval	Qudara = 0.1 lpm		Qudara = 0.2 lpm		Qudara = 0.3 lpm	
		Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase
1	0.001 - 0.04	9913	70.984604	10245	68.122881	11863	73.15614208
2	0.041 - 0.08	2811	20.128894	1678	11.157657	2841	17.5197336
3	0.081 - 0.12	510	3.6519871	1484	9.8676774	544	3.354711396
4	0.121 - 0.16	426	3.0504834	965	6.41665	396	2.44203256
5	0.161 - 0.2	116	0.830648	292	1.9416185	175	1.079181056
6	0.201 - 0.24	56	0.4010025	142	0.9442117	132	0.814010853
7	0.241 - 0.28	49	0.3508772	58	0.3856639	111	0.684509127
8	0.281 - 0.32	27	0.1933405	49	0.3258195	50	0.308337444
9	0.321 - 0.36	25	0.179019	37	0.246027	47	0.289837198
10	0.361 - 0.4	16	0.1145721	28	0.1861826	22	0.135668476
11	0.401 - 0.44	5	0.0358038	17	0.1130394	14	0.086334484
12	0.441 - 0.48	1	0.0071608	16	0.1063901	9	0.05550074
13	0.481 - 0.52	3	0.0214823	9	0.0598444	0	0
14	0.521 - 0.56	1	0.0071608	6	0.0398963	1	0.006166749
15	0.561 - 0.6	0	0	5	0.0332469	2	0.012333498
16	0.601 - 0.64	1	0.0071608	5	0.0332469	1	0.006166749
17	0.641 - 0.68	2	0.0143215	1	0.0066494	0	0
18	0.681 - 0.72	1	0.0071608	0	0	2	0.012333498
19	0.721 - 0.76	0	0	0	0	3	0.018500247
20	0.761 - 0.8	1	0.0071608	1	0.0066494	0	0
21	0.801 - 0.84	0	0	0	0	1	0.006166749
22	0.841 - 0.88	0	0	0	0	0	0
23	0.881 - 0.92	1	0.0071608	1	0.0066494	2	0.012333498
	Sum	13965	100	15039	100	16216	100



Gambar grafik persentase bubble pada  $Q_{air} = 9 \text{ lpm}$

Pengolahan Data untuk venturi dengan  $d_v = 3\text{mm}$   $\alpha_d = 10^\circ$  dengan  $Q_a = 10 \text{ lpm}$

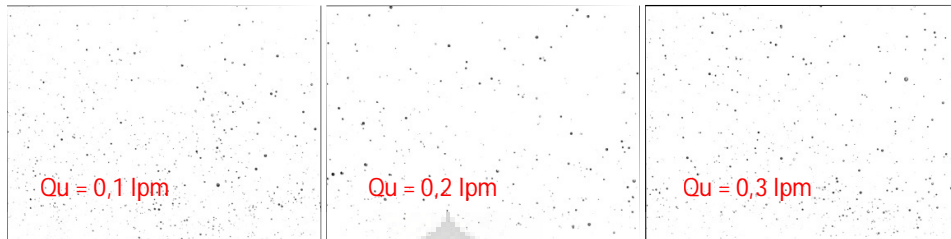
KELAS	Interval	Qudara = 0.1 lpm		Qudara = 0.2 lpm		Qudara = 0.3 lpm	
		Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase
1	0.001 - 0.04	12423	80.736986	14382	74.08056	14972	72.408957
2	0.041 - 0.08	1274	8.2797166	2217	11.419594	2841	13.739904
3	0.081 - 0.12	887	5.7646065	1246	6.4180488	1520	7.3511631
4	0.121 - 0.16	541	3.515955	522	2.6887813	445	2.1521497
5	0.161 - 0.2	77	0.5004224	386	1.9882559	209	1.0107849
6	0.201 - 0.24	41	0.2664587	199	1.0250335	184	0.8898776
7	0.241 - 0.28	44	0.2859557	154	0.793242	150	0.7254437
8	0.281 - 0.32	37	0.2404627	95	0.4893376	144	0.696426
9	0.321 - 0.36	23	0.1494768	88	0.4532811	85	0.4110848
10	0.361 - 0.4	20	0.1299799	71	0.3657155	77	0.3723944
11	0.401 - 0.44	7	0.0454929	33	0.1699804	11	0.0531992
12	0.441 - 0.48	1	0.006499	5	0.0257546	21	0.1015621
13	0.481 - 0.52	5	0.032495	3	0.0154528	1	0.0048363
14	0.521 - 0.56	1	0.006499	1	0.0051509	0	0
15	0.561 - 0.6	0	0	0	0	1	0.0048363
16	0.601 - 0.64	1	0.006499	1	0.0051509	0	0
17	0.641 - 0.68	0	0	3	0.0154528	3	0.0145089
18	0.681 - 0.72	2	0.012998	3	0.0154528	3	0.0145089
19	0.721 - 0.76	1	0.006499	1	0.0051509	5	0.0241815
20	0.761 - 0.8	0	0	2	0.0103018	1	0.0048363
21	0.801 - 0.84	1	0.006499	0	0	0	0
22	0.841 - 0.88	1	0.006499	1	0.0051509	2	0.0096726
23	0.881 - 0.92	0	0	1	0.0051509	2	0.0096726
Sum		15387	100	19414	100	20677	100



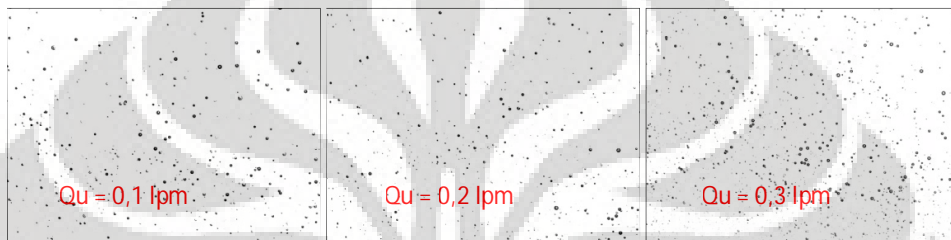
Gambar grafik persentase bubble pada  $Q_{air} = 10 \text{ lpm}$



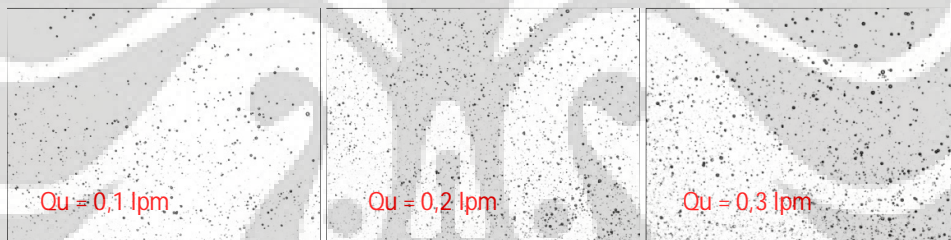
**Lampiran 10. Pengolahan Data visual venturi dengan  $dv = 4\text{mm}$   $\alpha_d = 10^\circ$**



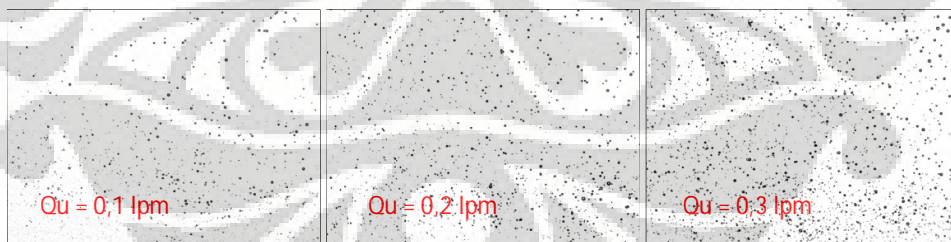
Gambar  $dv = 4$   $\alpha_d = 10^\circ$   $Q_{air} = 7\text{lpm}$



Gambar  $dv = 4$   $\alpha_d = 10^\circ$   $Q_{air} = 8\text{lpm}$



Gambar  $dv = 4$   $\alpha_d = 10^\circ$   $Q_{air} = 9\text{lpm}$



Gambar  $dv = 4$   $\alpha_d = 10^\circ$   $Q_{air} = 10\text{lpm}$

Pengolahan Data untuk venturi dengan  $dv = 3\text{mm}$   $\alpha_d = 10^\circ$  dengan  $Q_a = 7\text{lpm}$

KELAS	Interval	Qudara = 0.1 lpm		Qudara = 0.2 lpm		Qudara = 0.3 lpm	
		Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase
1	0.001 - 0.04	2133	52.47232472	2856	56.47617164	3107	50.62734235
2	0.041 - 0.08	934	22.97662977	1849	36.56317975	856	13.94818315

3	0.081 - 0.12	314	7.724477245	115	2.274075539	920	14.99103797
4	0.121 - 0.16	228	5.608856089	49	0.968953925	447	7.283689099
5	0.161 - 0.2	175	4.30504305	37	0.731659086	252	4.106240834
6	0.201 - 0.24	132	3.247232472	35	0.692109947	167	2.721199283
7	0.241 - 0.28	54	1.328413284	28	0.553687957	159	2.590842431
8	0.281 - 0.32	39	0.959409594	16	0.316393118	103	1.678344468
9	0.321 - 0.36	21	0.516605166	15	0.296618549	29	0.472543588
10	0.361 - 0.4	11	0.270602706	9	0.177971129	41	0.668078866
11	0.401 - 0.44	9	0.221402214	9	0.177971129	31	0.505132801
12	0.441 - 0.48	4	0.098400984	11	0.217520269	5	0.081473032
13	0.481 - 0.52	1	0.024600246	14	0.276843979	4	0.065178426
14	0.521 - 0.56	2	0.049200492	5	0.09887285	2	0.032589213
15	0.561 - 0.6	1	0.024600246	1	0.01977457	1	0.016294606
16	0.601 - 0.64	2	0.049200492	2	0.03954914	3	0.048883819
17	0.641 - 0.68	1	0.024600246	1	0.01977457	2	0.032589213
18	0.681 - 0.72	0	0	2	0.03954914	2	0.032589213
19	0.721 - 0.76	0	0	1	0.01977457	1	0.016294606
20	0.761 - 0.8	2	0.049200492	0	0	4	0.065178426
21	0.801 - 0.84	0	0	1	0.01977457	1	0.016294606
22	0.841 - 0.88	1	0.024600246	1	0.01977457	0	0
23	0.881 - 0.92	1	0.024600246	0	0	0	0
Sum		4065	100	5057	100	6137	100

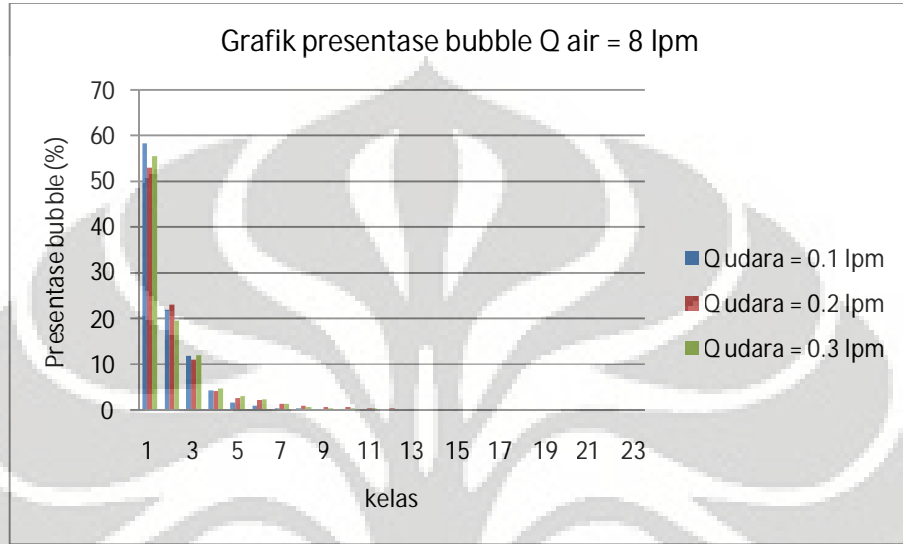
Gambar grafik persentase bubble pada  $Q$  air = 7 lpm

Pengolahan Data untuk venturi dengan  $d_v = 3\text{mm}$   $\alpha_d = 10^\circ$  dengan  $Q_a = 8$  lpm

KELAS	Interval	Qudara = 0.1 lpm		Qudara = 0.2 lpm		Qudara = 0.3 lpm	
		Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase
1	0.001 - 0.04	3841	58.338396	4583	52.96429	5382	55.46738122
2	0.041 - 0.08	1445	21.947145	1992	23.020918	1895	19.53004225
3	0.081 - 0.12	773	11.740583	954	11.025078	1154	11.8932289
4	0.121 - 0.16	284	4.3134872	352	4.0679533	456	4.69957745
5	0.161 - 0.2	104	1.5795869	221	2.5540275	284	2.926929816
6	0.201 - 0.24	54	0.8201701	185	2.1379868	215	2.215809543
7	0.241 - 0.28	22	0.3341434	119	1.3752456	135	1.391322271
8	0.281 - 0.32	18	0.27339	75	0.8667514	49	0.504998454
9	0.321 - 0.36	9	0.136695	53	0.6125043	33	0.340101
10	0.361 - 0.4	6	0.09113	46	0.5316075	26	0.267958363
11	0.401 - 0.44	8	0.1215067	27	0.3120305	29	0.298876636
12	0.441 - 0.48	4	0.0607533	27	0.3120305	11	0.113367
13	0.481 - 0.52	2	0.0303767	2	0.0231134	9	0.092754818
14	0.521 - 0.56	1	0.0151883	5	0.0577834	9	0.092754818
15	0.561 - 0.6	0	0	1	0.0115567	4	0.041224364
16	0.601 - 0.64	1	0.0151883	4	0.0462267	3	0.030918273
17	0.641 - 0.68	3	0.045565	1	0.0115567	2	0.020612182
18	0.681 - 0.72	0	0	1	0.0115567	0	0
19	0.721 - 0.76	4	0.0607533	0	0	0	0



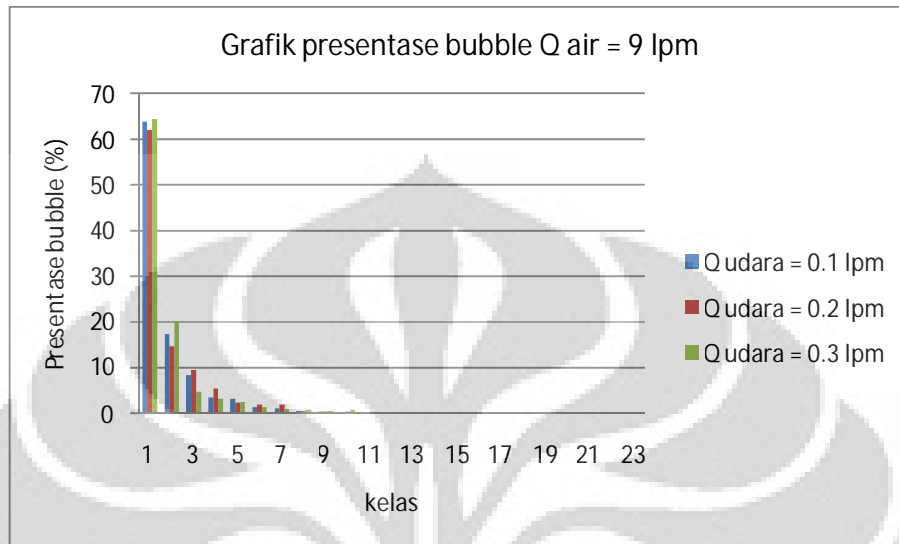
20	0.761 - 0.8	1	0.0151883	4	0.0462267	2	0.020612182
21	0.801 - 0.84	0	0	0	0	2	0.020612182
22	0.841 - 0.88	3	0.045565	1	0.0115567	1	0.010306091
23	0.881 - 0.92	1	0.0151883	0	0	2	0.020612182
Sum		6584	100	8653	100	9703	100



Pengolahan Data untuk venturi dengan  $d_v = 3\text{mm}$   $\alpha_d = 10^\circ$  dengan  $Q_a = 9\text{ lpm}$

KELAS	Interval	Qudara = 0.1 lpm		Qudara = 0.2 lpm		Qudara = 0.3 lpm	
		Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase
1	0.001 - 0.04	5962	61.394295	6620	56.59087	7148	60.54548535
2	0.041 - 0.08	1784	18.37092	1632	13.951103	1995	16.89818736
3	0.081 - 0.12	1004	10.338791	994	8.497179	779	6.598339827
4	0.121 - 0.16	523	5.3856451	675	5.7702171	452	3.828561748
5	0.161 - 0.2	142	1.4622593	511	4.3682681	446	3.777740132
6	0.201 - 0.24	94	0.9679745	419	3.5818089	254	2.151448416
7	0.241 - 0.28	76	0.7826177	288	2.4619593	239	2.024394376
8	0.281 - 0.32	39	0.4016064	194	1.6584031	167	1.414534982
9	0.321 - 0.36	22	0.2265472	114	0.9745256	152	1.287480942
10	0.361 - 0.4	29	0.2986304	93	0.7950077	57	0.482805353
11	0.401 - 0.44	27	0.2780352	55	0.4701658	39	0.330340505
12	0.441 - 0.48	3	0.0308928	45	0.3846811	27	0.228697273
13	0.481 - 0.52	1	0.0102976	31	0.2650026	18	0.152464848
14	0.521 - 0.56	0	0	10	0.0854847	11	0.093172963
15	0.561 - 0.6	1	0.0102976	5	0.0427423	9	0.076232424
16	0.601 - 0.64	0	0	2	0.0170969	4	0.033881077
17	0.641 - 0.68	1	0.0102976	1	0.0085485	1	0.008470269
18	0.681 - 0.72	0	0	1	0.0085485	0	0
19	0.721 - 0.76	0	0	3	0.0256454	3	0.025410808
20	0.761 - 0.8	2	0.0205952	1	0.0085485	1	0.008470269
21	0.801 - 0.84	0	0	2	0.0170969	3	0.025410808
22	0.841 - 0.88	0	0	1	0.0085485	1	0.008470269

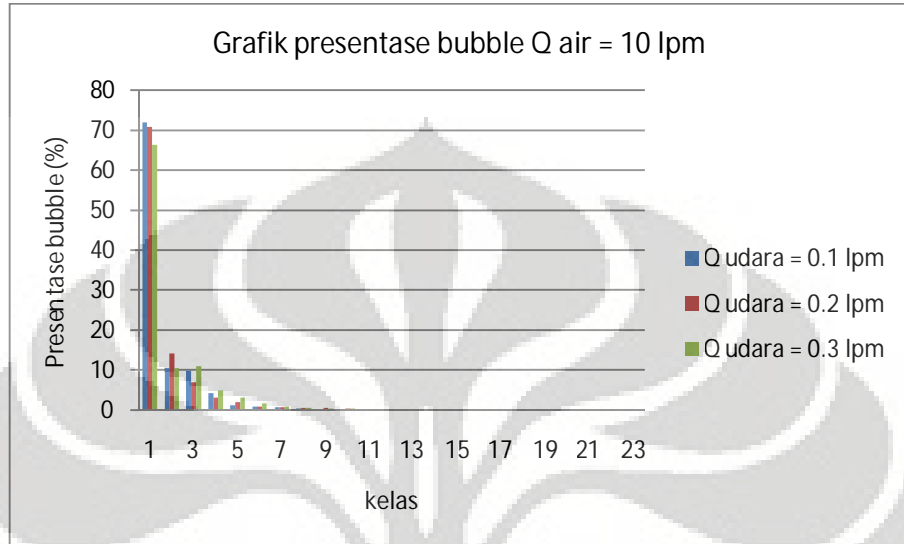
23	0.881	-	0.92	1	0.0102976	1	0.0085485	0	0	
				Sum	9711	100	11698	100	11806	100



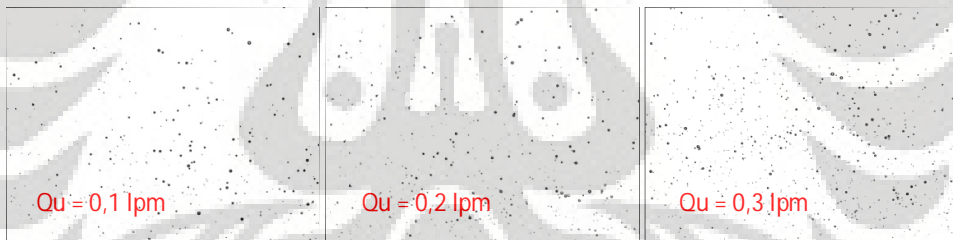
Pengolahan Data untuk venturi dengan  $dv = 3\text{mm}$   $\alpha_d = 10^\circ$  dengan  $Q_a = 10\text{ lpm}$

KELAS	Interval	Qudara = 0.1 lpm		Qudara = 0.2 lpm		Qudara = 0.3 lpm	
		Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase
1	0.001 - 0.04	7203	71.958042	7976	70.753127	7563	66.342105
2	0.041 - 0.08	1043	10.41958	1595	14.148851	1194	10.473684
3	0.081 - 0.12	991	9.9000999	793	7.0345072	1243	10.903509
4	0.121 - 0.16	432	4.3156843	341	3.0249268	558	4.8947368
5	0.161 - 0.2	103	1.028971	223	1.9781779	354	3.1052632
6	0.201 - 0.24	87	0.8691309	85	0.754014	201	1.7631579
7	0.241 - 0.28	65	0.6493506	74	0.6564357	98	0.8596491
8	0.281 - 0.32	37	0.3696304	57	0.5056329	57	0.5
9	0.321 - 0.36	15	0.1498501	48	0.4257962	39	0.3421053
10	0.361 - 0.4	11	0.1098901	33	0.2927349	35	0.3070175
11	0.401 - 0.44	7	0.0699301	21	0.1862858	20	0.1754386
12	0.441 - 0.48	5	0.04995	9	0.0798368	16	0.1403509
13	0.481 - 0.52	2	0.01998	4	0.035483	9	0.0789474
14	0.521 - 0.56	1	0.00999	2	0.0177415	4	0.0350877
15	0.561 - 0.6	0	0	3	0.0266123	3	0.0263158
16	0.601 - 0.64	1	0.00999	1	0.0088708	0	0
17	0.641 - 0.68	0	0	0	0	1	0.0087719
18	0.681 - 0.72	3	0.02997	2	0.0177415	2	0.0175439
19	0.721 - 0.76	0	0	1	0.0088708	0	0
20	0.761 - 0.8	0	0	0	0	1	0.0087719
21	0.801 - 0.84	2	0.01998	2	0.0177415	0	0
22	0.841 - 0.88	2	0.01998	1	0.0088708	2	0.0175439
23	0.881 - 0.92	0	0	2	0.0177415	0	0

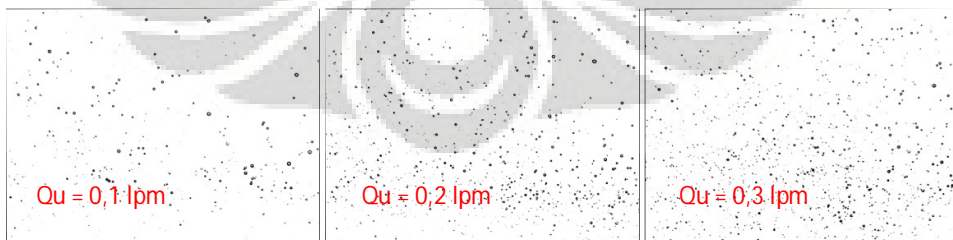
Sum	10010	100	11273	100	11400	100
-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----



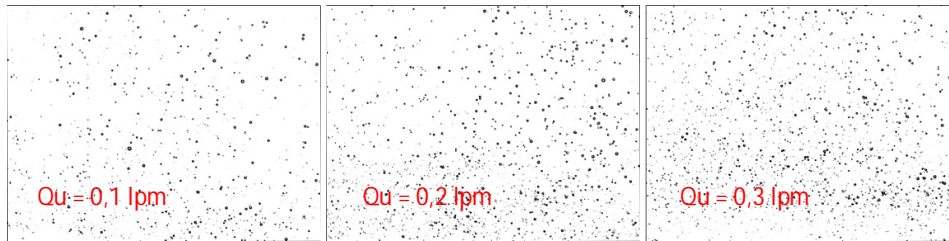
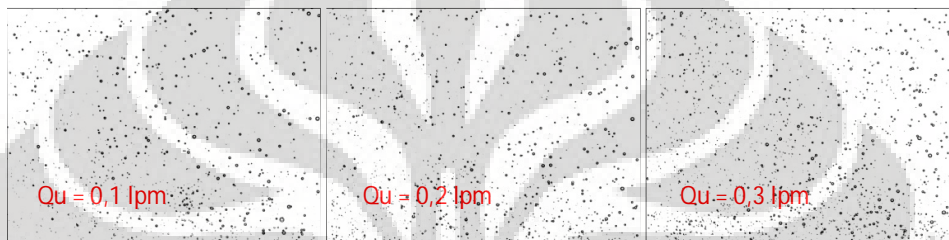
11. Pengolahan Data untuk venturi dengan  $d_v = 4\text{mm}$   $\alpha_d = 15^\circ$



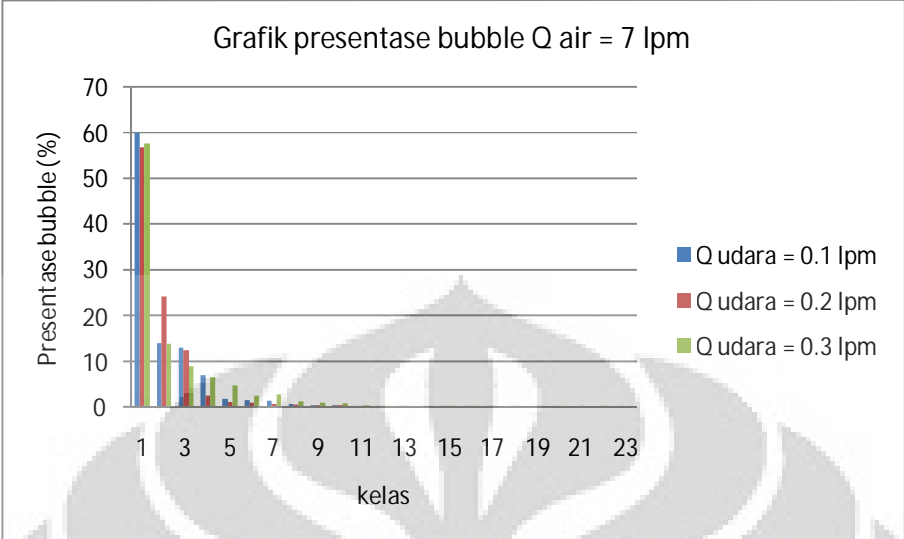
Gambar  $d_v = 4$   $\alpha_d = 15^\circ$   $Q_{air} = 7\text{ lpm}$



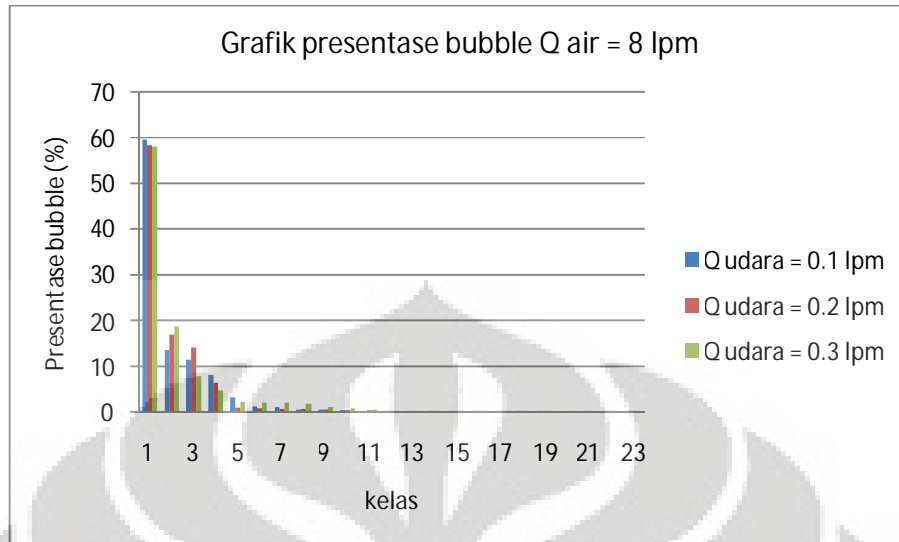
Gambar  $d_v = 4$   $\alpha_d = 15^\circ$   $Q_{air} = 8\text{ lpm}$

Gambar  $dv = 4$   $\alpha_d = 15^\circ$   $Q_{air} = 9 \text{ lpm}$ Gambar  $dv = 4$   $\alpha_d = 15^\circ$   $Q_{air} = 10 \text{ lpm}$ 

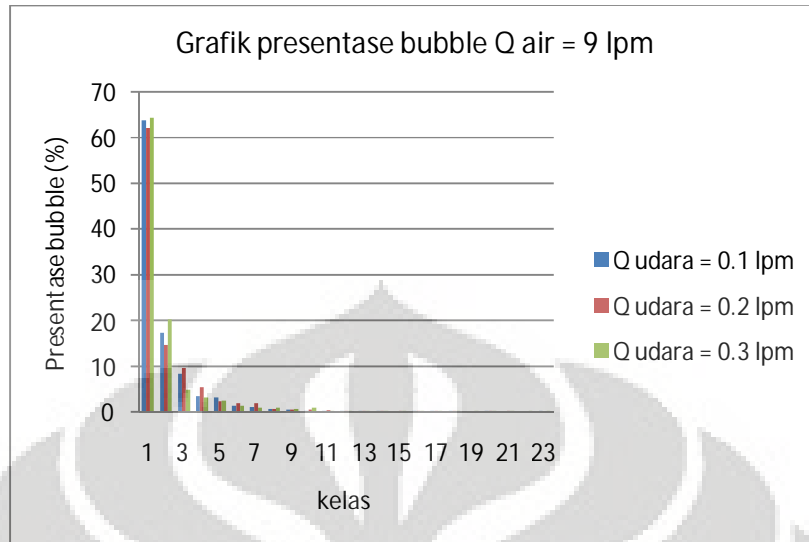
KELAS	Interval	Qudara = 0.1 lpm		Qudara = 0.2 lpm		Qudara = 0.3 lpm	
		Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase
1	0.001 - 0.04	3974	60.08466888	4562	56.80488109	5220	57.55871651
2	0.041 - 0.08	913	13.80405201	1941	24.16884572	1245	13.72808468
3	0.081 - 0.12	856	12.94224373	1002	12.47665297	805	8.876392105
4	0.121 - 0.16	454	6.864227396	196	2.440542896	588	6.483625538
5	0.161 - 0.2	116	1.753855458	86	1.070850454	426	4.697320543
6	0.201 - 0.24	97	1.46658603	65	0.809363716	221	2.436872864
7	0.241 - 0.28	89	1.345630481	49	0.610135724	238	2.624324622
8	0.281 - 0.32	34	0.514061083	40	0.498069979	116	1.279082589
9	0.321 - 0.36	21	0.317508316	28	0.348648985	76	0.838019627
10	0.361 - 0.4	19	0.287269428	21	0.261486739	58	0.639541295
11	0.401 - 0.44	10	0.151194436	11	0.136969244	29	0.319770647
12	0.441 - 0.48	10	0.151194436	8	0.099613996	17	0.187451759
13	0.481 - 0.52	6	0.090716662	5	0.062258747	12	0.132318889
14	0.521 - 0.56	5	0.075597218	5	0.062258747	6	0.066159444
15	0.561 - 0.6	4	0.060477774	2	0.024903499	5	0.05513287
16	0.601 - 0.64	1	0.015119444	1	0.012451749	1	0.011026574
17	0.641 - 0.68	2	0.030238887	1	0.012451749	0	0
18	0.681 - 0.72	1	0.015119444	4	0.049806998	0	0
19	0.721 - 0.76	0	0	1	0.012451749	2	0.022053148
20	0.761 - 0.8	1	0.015119444	0	0	1	0.011026574
21	0.801 - 0.84	0	0	2	0.024903499	0	0
22	0.841 - 0.88	0	0	1	0.012451749	2	0.022053148
23	0.881 - 0.92	1	0.015119444	0	0	1	0.011026574
	Sum	6614	100	8031	100	9069	100



KELAS	Interval	Qudara = 0.1 lpm		Qudara = 0.2 lpm		Qudara = 0.3 lpm	
		Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase
1	0.001 - 0.04	4120	59.606481	5283	58.395048	5704	58.07371207
2	0.041 - 0.08	932	13.483796	1531	16.922737	1838	18.71309306
3	0.081 - 0.12	788	11.400463	1274	14.082016	762	7.758094075
4	0.121 - 0.16	561	8.1163194	574	6.3446446	461	4.693545103
5	0.161 - 0.2	225	3.2552083	86	0.9505914	215	2.188963551
6	0.201 - 0.24	85	1.2297454	65	0.7184702	204	2.076970067
7	0.241 - 0.28	74	1.0706019	49	0.541616	198	2.015882712
8	0.281 - 0.32	33	0.4774306	57	0.6300431	172	1.751170841
9	0.321 - 0.36	29	0.4195602	39	0.4310821	105	1.069028711
10	0.361 - 0.4	17	0.2459491	31	0.342655	73	0.743229485
11	0.401 - 0.44	15	0.2170139	22	0.2431745	49	0.498880065
12	0.441 - 0.48	9	0.1302083	11	0.1215873	18	0.183262065
13	0.481 - 0.52	7	0.1012731	6	0.0663203	9	0.091631032
14	0.521 - 0.56	5	0.072338	7	0.0773737	1	0.010181226
15	0.561 - 0.6	3	0.0434028	1	0.0110534	4	0.040724903
16	0.601 - 0.64	1	0.0144676	2	0.0221068	2	0.020362452
17	0.641 - 0.68	0	0	1	0.0110534	1	0.010181226
18	0.681 - 0.72	2	0.0289352	3	0.0331602	0	0
19	0.721 - 0.76	1	0.0144676	1	0.0110534	2	0.020362452
20	0.761 - 0.8	0	0	0	0	1	0.010181226
21	0.801 - 0.84	2	0.0289352	1	0.0110534	0	0
22	0.841 - 0.88	2	0.0289352	2	0.0221068	2	0.020362452
23	0.881 - 0.92	1	0.0144676	1	0.0110534	1	0.010181226
	Sum	6912	100	9047	100	9822	100

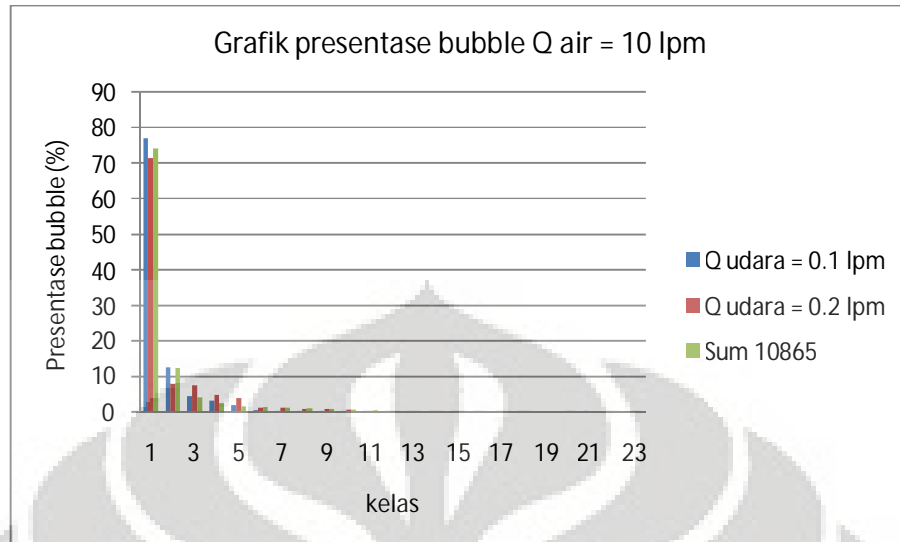


KELAS	Interval	Qudara = 0.1 lpm		Qudara = 0.2 lpm		Qudara = 0.3 lpm	
		Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase
1	0.001 - 0.04	5767	63.815425	6202	62.069656	6548	64.42979435
2	0.041 - 0.08	1567	17.339825	1467	14.681745	2049	20.16136967
3	0.081 - 0.12	756	8.3656081	946	9.4675741	483	4.752533701
4	0.121 - 0.16	315	3.48567	542	5.4243395	327	3.217553872
5	0.161 - 0.2	291	3.2200952	229	2.2918335	241	2.371347043
6	0.201 - 0.24	117	1.2946774	194	1.9415532	141	1.387385614
7	0.241 - 0.28	98	1.0844307	190	1.9015212	94	0.924923743
8	0.281 - 0.32	51	0.5643466	55	0.5504404	82	0.806848372
9	0.321 - 0.36	43	0.4758216	49	0.4903923	52	0.511659943
10	0.361 - 0.4	16	0.1770499	37	0.3702962	83	0.816687986
11	0.401 - 0.44	5	0.0553281	32	0.3202562	21	0.2066319
12	0.441 - 0.48	1	0.0110656	21	0.2101681	14	0.1377546
13	0.481 - 0.52	3	0.0331969	9	0.0900721	6	0.059037686
14	0.521 - 0.56	1	0.0110656	2	0.020016	2	0.019679229
15	0.561 - 0.6	0	0	4	0.040032	4	0.039358457
16	0.601 - 0.64	1	0.0110656	1	0.010008	3	0.029518843
17	0.641 - 0.68	2	0.0221312	4	0.040032	2	0.019679229
18	0.681 - 0.72	1	0.0110656	5	0.05004	1	0.009839614
19	0.721 - 0.76	0	0	0	0	4	0.039358457
20	0.761 - 0.8	1	0.0110656	2	0.020016	1	0.009839614
21	0.801 - 0.84	0	0	1	0.010008	2	0.019679229
22	0.841 - 0.88	0	0	0	0	2	0.019679229
23	0.881 - 0.92	1	0.0110656	0	0	1	0.009839614
	Sum	9037	100	9992	100	10163	100

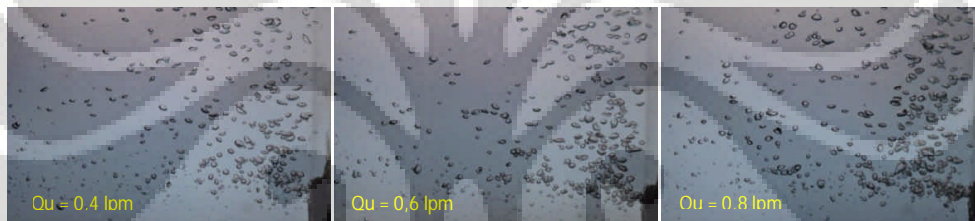


KELAS	Interval	Oudara = 0.1 lpm		Oudara = 0.2 lpm		Oudara = 0.3 lpm	
		Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase	Jumlah	Persentase
1	0.001 - 0.04	8360	76.944317	8554	71.318993	8790	74.039757
2	0.041 - 0.08	1374	12.646111	932	7.7705519	1459	12.28942
3	0.081 - 0.12	487	4.4822826	895	7.4620644	493	4.152628
4	0.121 - 0.16	331	3.0464795	582	4.8524262	290	2.4427224
5	0.161 - 0.2	201	1.849977	443	3.6935134	187	1.5751348
6	0.201 - 0.24	34	0.3129314	145	1.2089378	164	1.3814016
7	0.241 - 0.28	24	0.2208928	134	1.1172253	129	1.0865903
8	0.281 - 0.32	13	0.1196503	92	0.7670502	98	0.8254717
9	0.321 - 0.36	10	0.0920387	85	0.7086877	83	0.699124
10	0.361 - 0.4	7	0.0644271	64	0.5336001	67	0.5643531
11	0.401 - 0.44	5	0.0460193	23	0.1917625	54	0.4548518
12	0.441 - 0.48	5	0.0460193	17	0.1417375	22	0.18531
13	0.481 - 0.52	1	0.0092039	11	0.0917125	16	0.1347709
14	0.521 - 0.56	4	0.0368155	6	0.050025	7	0.0589623
15	0.561 - 0.6	3	0.0276116	2	0.016675	1	0.0084232
16	0.601 - 0.64	2	0.0184077	1	0.0083375	4	0.0336927
17	0.641 - 0.68	1	0.0092039	3	0.0250125	3	0.0252695
18	0.681 - 0.72	1	0.0092039	1	0.0083375	1	0.0084232
19	0.721 - 0.76	0	0	0	0	0	0
20	0.761 - 0.8	0	0	1	0.0083375	1	0.0084232
21	0.801 - 0.84	1	0.0092039	0	0	0	0
22	0.841 - 0.88	1	0.0092039	2	0.016675	2	0.0168464
23	0.881 - 0.92	0	0	1	0.0083375	1	0.0084232
	Sum	10865	100	11994	100	11872	100

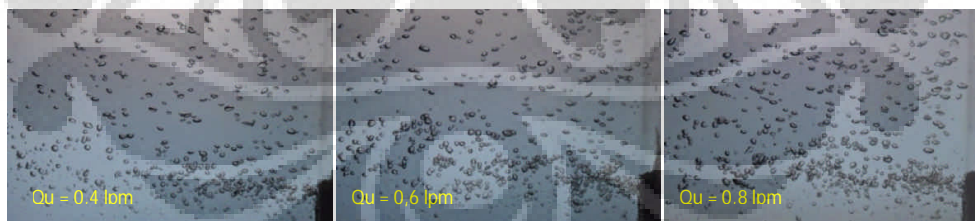




### 9. Gambar microbubble hasil *spherical ball*



Gambar Hasil *Microbubble Spherical Ball microbubble generator* dengan diameter bola 24mm pada debit air 25 lpm dan debit udara 4 lpm, 6 lpm, 8lpm.

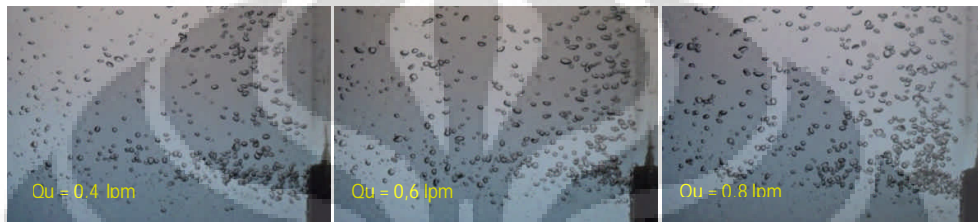


Gambar Hasil *Microbubble Spherical Ball microbubble generator* dengan diameter bola 24mm pada debit air 30 lpm dan debit udara 4 lpm, 6 lpm, 8lpm.

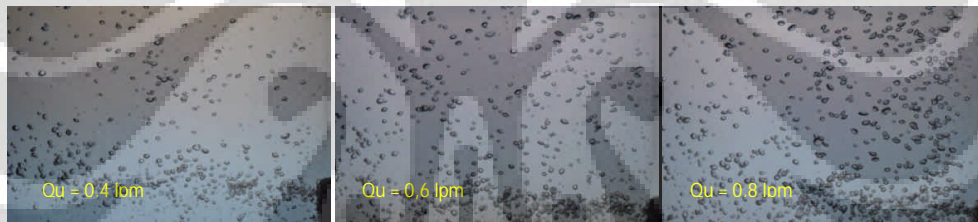




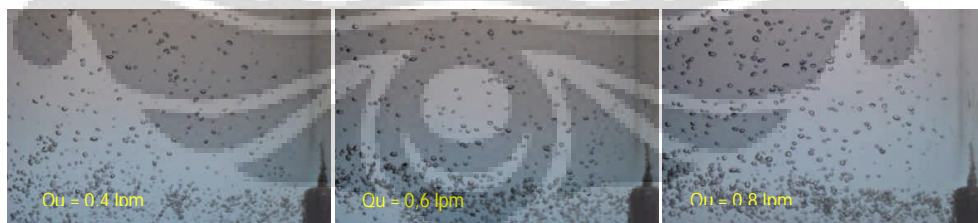
Gambar Hasil *Microbubble Spherical Ball microbubble generator* dengan diameter bola 24mm pada debit air 35 lpm dan debit udara 4 lpm, 6 lpm, 8lpm.



Gambar Hasil *Microbubble Spherical Ball microbubble generator* dengan diameter bola 26mm pada debit air 25 lpm dan debit udara 4 lpm, 6 lpm, 8lpm.



Gambar Hasil *Microbubble Spherical Ball microbubble generator* dengan diameter bola 26mm pada debit air 30 lpm dan debit udara 4 lpm, 6 lpm, 8lpm.



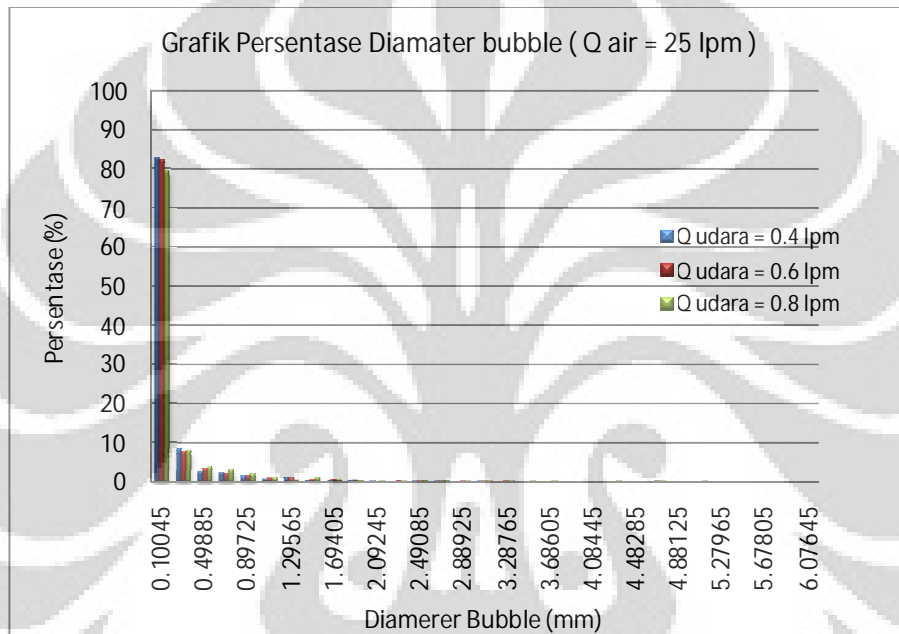
Gambar Hasil *Microbubble Spherical Ball microbubble generator* dengan diameter bola 26mm pada debit air 35 lpm dan debit udara 4 lpm, 6 lpm, 8lpm.

## B. SPHERICAL BALL D=24

Keterangan	Q air = 25lpm			Q air = 30 lpm		
	Qu = 0.4lpm	Qu=0.6lpm	Qu=0.8lpm	Qu =0.4lpm	Qu =0.6lpm	Qu=0.8lpm
Rata-Rata	0.132416104	0.14738	0.178720345	0.1288	0.13296222	0.151333
Min	0.0009183	0.00092	0.0009183	0.0009	0.0009183	0.000918
Max	3.1322314	4.65381	5.087236	5.9715	5.2662994	5.873278
SD	0.290935297	0.34513	0.438541604	0.4387	0.45800899	0.539529
Modus	0.0009183	0.00092	0.0009183	0.0009	0.0009183	0.000918
Keterangan	Q air = 35 lpm					
	Qu =0.4lpm	Qu =0.6lpm	Q u =0.8lpm			
Rata-Rata	0.107211464	0.11681	0.128817262			
Min	0.0009183	0.00092	0.0009183			
Max	5.3728191	5.95133	5.2157943			
SD	0.393894717	0.0384	0.066242549			
Modus	0.0009183	0.00092	0.0009183			

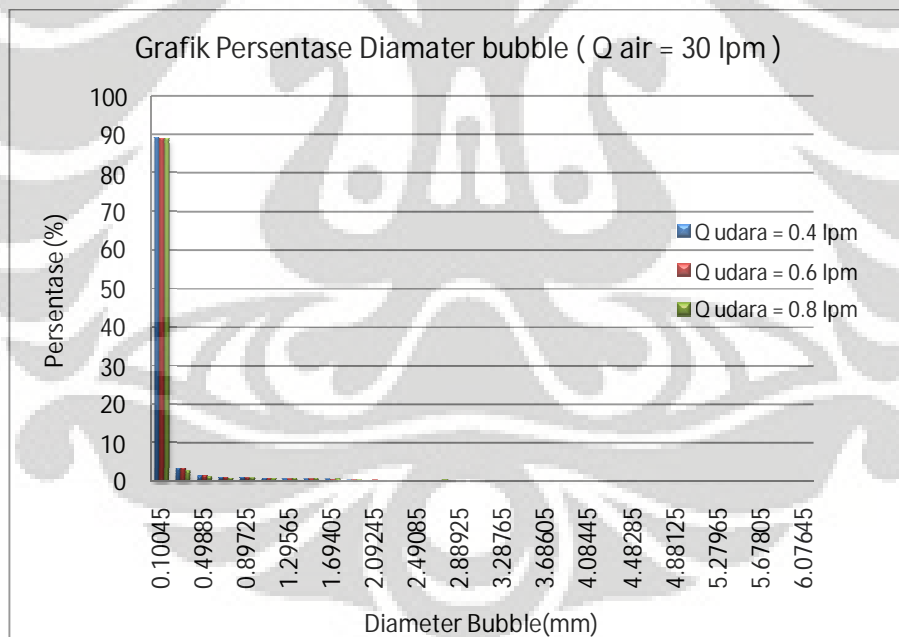
KELAS	Interval	Q udara = 0.4 lpm		Q udara = 0.6 lpm		Q udara = 0.8 lpm	
		Jumlah	Persentase (%)	Jumlah	Persentase (%)	Jumlah	Persentase (%)
1	0.0009 - 0.2	2180	82.73244782	2302	82.18493395	2316	79.36943112
2	0.2001 - 0.3992	218	8.273244782	212	7.568725455	229	7.847840987
3	0.3993 - 0.5984	68	2.580645161	93	3.32024277	107	3.666895134
4	0.5985 - 0.7976	59	2.239089184	52	1.856479829	87	2.981494174
5	0.7977 - 0.9968	36	1.366223909	41	1.463762942	53	1.816312543
6	0.9969 - 1.196	17	0.64516129	24	0.856836844	27	0.925291295
7	1.1961 - 1.3952	28	1.062618596	25	0.892538379	11	0.376970528
8	1.3953 - 1.5944	8	0.303605313	15	0.535523027	29	0.993831391
9	1.5945 - 1.7936	8	0.303605313	14	0.499821492	13	0.445510624
10	1.7937 - 1.9928	5	0.189753321	9	0.321313816	9	0.308430432
11	1.9929 - 2.192	4	0.151802657	0	0	1	0.034270048
12	2.1921 - 2.3912	0	0	6	0.214209211	4	0.137080192
13	2.3913 - 2.5904	1	0.037950664	1	0.035701535	8	0.274160384
14	2.5905 - 2.7896	2	0.075901328	1	0.035701535	8	0.274160384
15	2.7897 - 2.9888	0	0	1	0.035701535	3	0.102810144
16	2.9889 - 3.188	1	0.037950664	3	0.107104605	4	0.137080192
17	3.1881 - 3.3872	0	0	1	0.035701535	2	0.068540096
18	3.3873 - 3.5864	0	0	0	0	1	0.034270048
19	3.5865 - 3.7856	0	0	0	0	2	0.068540096
20	3.7857 - 3.9848	0	0	0	0	0	0
21	3.9849 - 4.184	0	0	0	0	0	0
22	4.1841 - 4.3832	0	0	0	0	1	0.034270048
23	4.3833 - 4.5824	0	0	0	0	0	0
24	4.5825 - 4.7816	0	0	1	0.035701535	2	0.068540096

25	4.7817 - 4.9808	0	0	0	0	0	0
26	4.9809 - 5.18	0	0	0	0	1	0.034270048
27	5.1801 - 5.3792	0	0	0	0	0	0
28	5.3793 - 5.5784	0	0	0	0	0	0
29	5.5785 - 5.7776	0	0	0	0	0	0
30	5.7777 - 5.9768	0	0	0	0	0	0
31	5.9769 - 6.176	0	0	0	0	0	0
SUM		2635	100	2801	100	2918	100



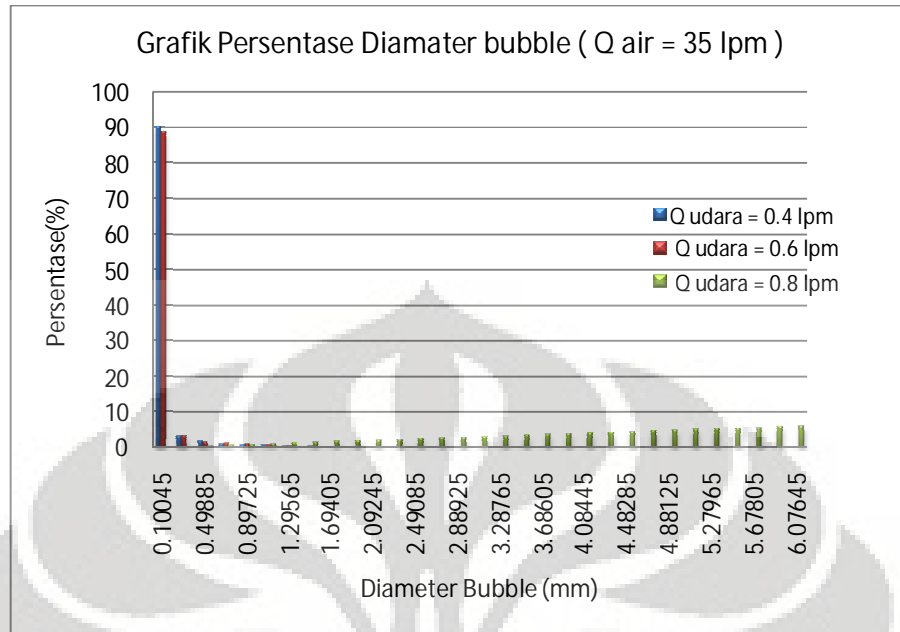
KELAS	Interval	Q udara = 0.4 lpm		Q udara = 0.6 lpm		Q udara = 0.8 lpm	
		Jumlah	Persentase (%)	Jumlah	Persentase (%)	Jumlah	Persentase (%)
1	0.0009 - 0.2	6506	89.2577857	8547	88.93860562	9428	89.01897838
2	0.2001 - 0.3992	244	3.347509946	332	3.454734651	280	2.643754131
3	0.3993 - 0.5984	109	1.495404033	150	1.560874089	131	1.236899254
4	0.5985 - 0.7976	78	1.070105639	113	1.175858481	92	0.868662072
5	0.7977 - 0.9968	78	1.070105639	93	0.967741935	99	0.934755925
6	0.9969 - 1.196	51	0.699684456	65	0.676378772	63	0.594844679
7	1.1961 - 1.3952	41	0.562491425	49	0.509885536	90	0.849778113
8	1.3953 - 1.5944	37	0.507614213	47	0.489073881	88	0.830894155
9	1.5945 - 1.7936	31	0.425298395	37	0.385015609	55	0.519308847
10	1.7937 - 1.9928	20	0.274386061	31	0.322580645	39	0.368237183
11	1.9929 - 2.192	14	0.192070243	31	0.322580645	23	0.217165518
12	2.1921 - 2.3912	16	0.219508849	14	0.145681582	27	0.254933434
13	2.3913 - 2.5904	7	0.096035121	13	0.135275754	19	0.179397602
14	2.5905 - 2.7896	8	0.109754424	16	0.166493236	41	0.387121141

15	2.7897 - 2.9888	7	0.096035121	10	0.104058273	25	0.236049476
16	2.9889 - 3.188	7	0.096035121	11	0.1144641	9	0.084977811
17	3.1881 - 3.3872	6	0.082315818	4	0.041623309	10	0.09441979
18	3.3873 - 3.5864	3	0.041157909	5	0.052029136	12	0.113303748
19	3.5865 - 3.7856	5	0.068596515	6	0.062434964	6	0.056651874
20	3.7857 - 3.9848	4	0.054877212	10	0.104058273	4	0.037767916
21	3.9849 - 4.184	5	0.068596515	6	0.062434964	6	0.056651874
22	4.1841 - 4.3832	1	0.013719303	4	0.041623309	5	0.047209895
23	4.3833 - 4.5824	2	0.027438606	3	0.031217482	7	0.066093853
24	4.5825 - 4.7816	3	0.041157909	5	0.052029136	6	0.056651874
25	4.7817 - 4.9808	1	0.013719303	4	0.041623309	5	0.047209895
26	4.9809 - 5.18	1	0.013719303	2	0.020811655	4	0.037767916
27	5.1801 - 5.3792	0	0	2	0.020811655	4	0.037767916
28	5.3793 - 5.5784	3	0.041157909	0	0	4	0.037767916
29	5.5785 - 5.7776	1	0.013719303	0	0	7	0.066093853
30	5.7777 - 5.9768	0	0	0	0	2	0.018883958
31	5.9769 - 6.176	0	0	0	0	0	0
SUM		7289	100	9610	100	10591	100



KELAS	Interval	Q udara = 0.4 lpm		Q udara = 0.6 lpm		Q udara = 0.8 lpm	
		Jumlah	Persentase (%)	Jumlah	Persentase (%)	Jumlah	Persentase (%)
1	0.0009 - 0.2	9961	90.35740203	11247	89.53904944	11396	85.51061754

2	0.2001 - 0.3992	350	3.174891147	410	3.264071332	742	5.567644631
3	0.3993 - 0.5984	185	1.678156749	203	1.616113367	361	2.708786674
4	0.5985 - 0.7976	121	1.097605225	142	1.130483242	221	1.658287687
5	0.7977 - 0.9968	83	0.752902758	123	0.9792214	128	0.960456217
6	0.9969 - 1.196	75	0.680333817	78	0.620969668	99	0.742852855
7	1.1961 - 1.3952	49	0.444484761	59	0.469707826	52	0.390185338
8	1.3953 - 1.5944	30	0.272133527	54	0.429902078	53	0.397688902
9	1.5945 - 1.7936	30	0.272133527	29	0.230873338	54	0.405192466
10	1.7937 - 1.9928	17	0.154208999	38	0.302523684	38	0.285135439
11	1.9929 - 2.192	13	0.117924528	21	0.167184141	21	0.157574848
12	2.1921 - 2.3912	21	0.190493469	15	0.119417244	43	0.32265326
13	2.3913 - 2.5904	15	0.136066763	26	0.206989889	5	0.037517821
14	2.5905 - 2.7896	7	0.063497823	15	0.119417244	14	0.105049899
15	2.7897 - 2.9888	11	0.099782293	19	0.151261842	13	0.097546335
16	2.9889 - 3.188	8	0.07256894	10	0.079611496	9	0.067532078
17	3.1881 - 3.3872	7	0.063497823	10	0.079611496	7	0.052524949
18	3.3873 - 3.5864	5	0.045355588	5	0.039805748	6	0.045021385
19	3.5865 - 3.7856	6	0.054426705	4	0.031844598	22	0.165078412
20	3.7857 - 3.9848	2	0.018142235	4	0.031844598	3	0.022510693
21	3.9849 - 4.184	3	0.027213353	7	0.055728047	16	0.120057027
22	4.1841 - 4.3832	4	0.03628447	9	0.071650346	3	0.022510693
23	4.3833 - 4.5824	3	0.027213353	5	0.039805748	8	0.060028514
24	4.5825 - 4.7816	5	0.045355588	2	0.015922299	4	0.030014257
25	4.7817 - 4.9808	1	0.009071118	6	0.047766898	7	0.052524949
26	4.9809 - 5.18	2	0.018142235	5	0.039805748	1	0.007503564
27	5.1801 - 5.3792	3	0.027213353	3	0.023883449	1	0.007503564
28	5.3793 - 5.5784	3	0.027213353	8	0.063689197	0	0
29	5.5785 - 5.7776	1	0.009071118	4	0.031844598	0	0
30	5.7777 - 5.9768	1	0.009071118	0	0	0	0
31	5.9769 - 6.176	2	0.018142235	0	0	0	0
	SUM	11024	100	12561	100	13327	100



### C. DIAMETER = 26MM

Keterangan	Q air = 25lpm			Q air = 30 lpm		
	Q u = 0.4	Q u = 0.6	Q u = 0.8	Q u = 0.4	Q u = 0.6	Q u = 0.8
Rata-Rata	0.132416104	0.14738	0.178720345	0.1288	0.13296222	0.151333
Min	0.0009183	0.00092	0.0009183	0.0009	0.0009183	0.000918
Max	3.1322314	4.65381	5.087236	5.9715	5.2662994	5.873278
SD	0.290935297	0.34513	0.438541604	0.4387	0.45800899	0.539529
Modus	0.0009183	0.00092	0.0009183	0.0009	0.0009183	0.000918

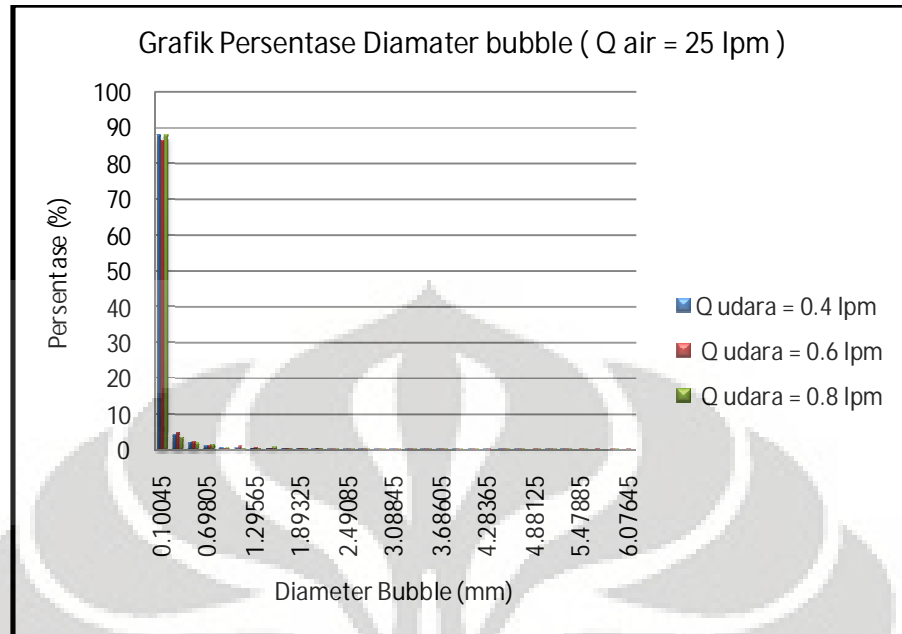
  

Keterangan	Q air = 35 lpm		
	Q u = 0.4	Q u = 0.6	Q u = 0.8
Rata-Rata	0.107211464	0.11681	0.128817262
Min	0.0009183	0.00092	0.0009183
Max	5.3728191	5.95133	5.2157943
SD	0.393894717	0.0384	0.066242549
Modus	0.0009183	0.00092	0.0009183

KELAS	Interval	Q udara = 0.4 lpm		Q udara = 0.6 lpm		Q udara = 0.8 lpm	
		Jumlah	Persentase (%)	Jumlah	Persentase (%)	Jumlah	Persentase (%)
1	0.0009 - 0.2	6170	88.18064885	6584	86.40419948	7201	88.12874801
2	0.2001 - 0.3992	295	4.216092611	369	4.842519685	293	3.585852405
3	0.3993 - 0.5984	147	2.100900386	170	2.230971129	159	1.945906254
4	0.5985 - 0.7976	81	1.157638988	93	1.220472441	129	1.57875413
5	0.7977 - 0.9968	56	0.800343004	31	0.406824147	63	0.771019459
6	0.9969 - 1.196	45	0.643132771	89	1.167979003	29	0.354913719



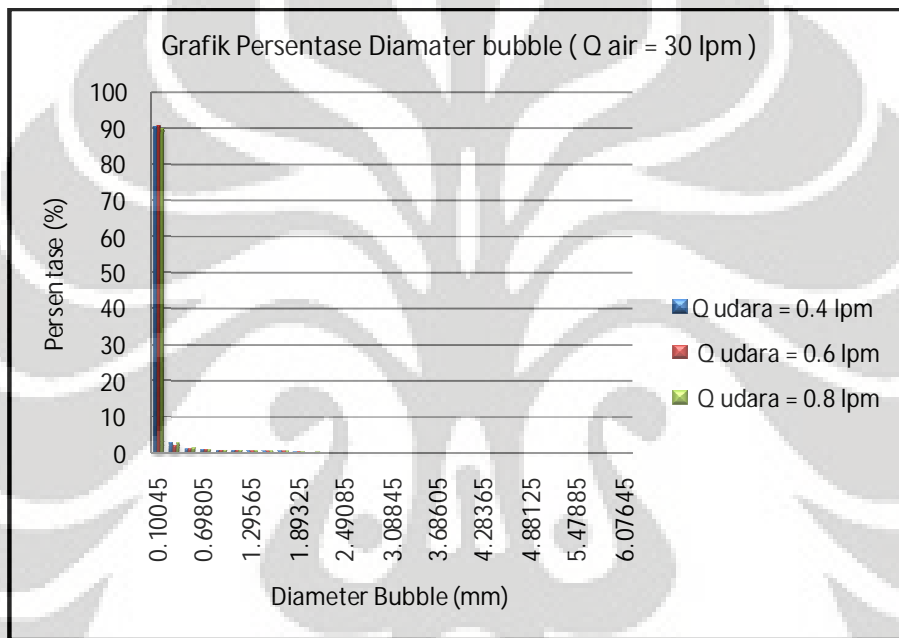
7	1.1961	-	1.3952	41	0.585965414	56	0.734908136	27	0.330436911
8	1.3953	-	1.5944	44	0.628840932	37	0.485564304	69	0.844449884
9	1.5945	-	1.7936	26	0.371587823	33	0.433070866	32	0.391628932
10	1.7937	-	1.9928	31	0.44304702	27	0.354330709	25	0.305960103
11	1.9929	-	2.192	12	0.171502072	48	0.62992126	32	0.391628932
12	2.1921	-	2.3912	2	0.028583679	3	0.039370079	10	0.122384041
13	2.3913	-	2.5904	7	0.100042876	2	0.026246719	15	0.183576062
14	2.5905	-	2.7896	8	0.114334715	14	0.183727034	10	0.122384041
15	2.7897	-	2.9888	6	0.085751036	5	0.065616798	11	0.134622445
16	2.9889	-	3.188	3	0.042875518	11	0.144356955	16	0.195814466
17	3.1881	-	3.3872	6	0.085751036	4	0.052493438	9	0.110145637
18	3.3873	-	3.5864	1	0.014291839	6	0.078740157	7	0.085668829
19	3.5865	-	3.7856	3	0.042875518	3	0.039370079	7	0.085668829
20	3.7857	-	3.9848	2	0.028583679	5	0.065616798	4	0.048953616
21	3.9849	-	4.184	3	0.042875518	5	0.065616798	2	0.024476808
22	4.1841	-	4.3832	2	0.028583679	2	0.026246719	0	0
23	4.3833	-	4.5824	2	0.028583679	5	0.065616798	6	0.073430425
24	4.5825	-	4.7816	1	0.014291839	3	0.039370079	3	0.036715212
25	4.7817	-	4.9808	0	0	1	0.01312336	5	0.061192021
26	4.9809	-	5.18	2	0.028583679	5	0.065616798	1	0.012238404
27	5.1801	-	5.3792	1	0.014291839	2	0.026246719	1	0.012238404
28	5.3793	-	5.5784	0	0	2	0.026246719	4	0.048953616
29	5.5785	-	5.7776	0	0	2	0.026246719	0	0
30	5.7777	-	5.9768	0	0	2	0.026246719	1	0.012238404
31	5.9769	-	6.176	0	0	1	0.01312336	0	0
			SUM	6997	100	7620	100	8171	100



KELAS	Interval	Q udara = 0.4 lpm		Q udara = 0.6 lpm		Q udara = 0.8 lpm	
		Jumlah	Persentase (%)	Jumlah	Persentase (%)	Jumlah	Persentase (%)
1	0.0009 - 0.2	9415	90.25980251	10272	90.70999647	9701	89.80744307
2	0.2001 - 0.3992	308	2.952737034	248	2.190038856	305	2.823551194
3	0.3993 - 0.5984	125	1.198351069	137	1.209819852	143	1.323828921
4	0.5985 - 0.7976	102	0.977854472	106	0.936064995	93	0.860951676
5	0.7977 - 0.9968	80	0.766944684	76	0.671114094	76	0.703573412
6	0.9969 - 1.196	78	0.747771067	86	0.759448958	73	0.675800778
7	1.1961 - 1.3952	60	0.575208513	57	0.503355705	68	0.629513053
8	1.3953 - 1.5944	47	0.450580002	52	0.459201696	56	0.518422514
9	1.5945 - 1.7936	54	0.517687662	52	0.459201696	49	0.4536197
10	1.7937 - 1.9928	39	0.373885534	49	0.43270929	41	0.379559341
11	1.9929 - 2.192	22	0.210909788	26	0.229600848	33	0.305498982
12	2.1921 - 2.3912	13	0.124628511	29	0.256093253	23	0.212923533
13	2.3913 - 2.5904	13	0.124628511	21	0.185446839	27	0.249953712
14	2.5905 - 2.7896	12	0.115041703	22	0.19427764	18	0.166635808
15	2.7897 - 2.9888	14	0.13421532	13	0.114800424	11	0.101832994
16	2.9889 - 3.188	6	0.057520851	11	0.09713882	12	0.111090539
17	3.1881 - 3.3872	5	0.047934043	9	0.079477217	8	0.074060359
18	3.3873 - 3.5864	6	0.057520851	6	0.052984811	7	0.064802814
19	3.5865 - 3.7856	2	0.019173617	12	0.105969622	2	0.01851509
20	3.7857 - 3.9848	4	0.038347234	4	0.035323207	9	0.083317904
21	3.9849 - 4.184	3	0.028760426	5	0.044154009	8	0.074060359
22	4.1841 - 4.3832	4	0.038347234	2	0.017661604	13	0.120348084
23	4.3833 - 4.5824	5	0.047934043	3	0.026492406	7	0.064802814

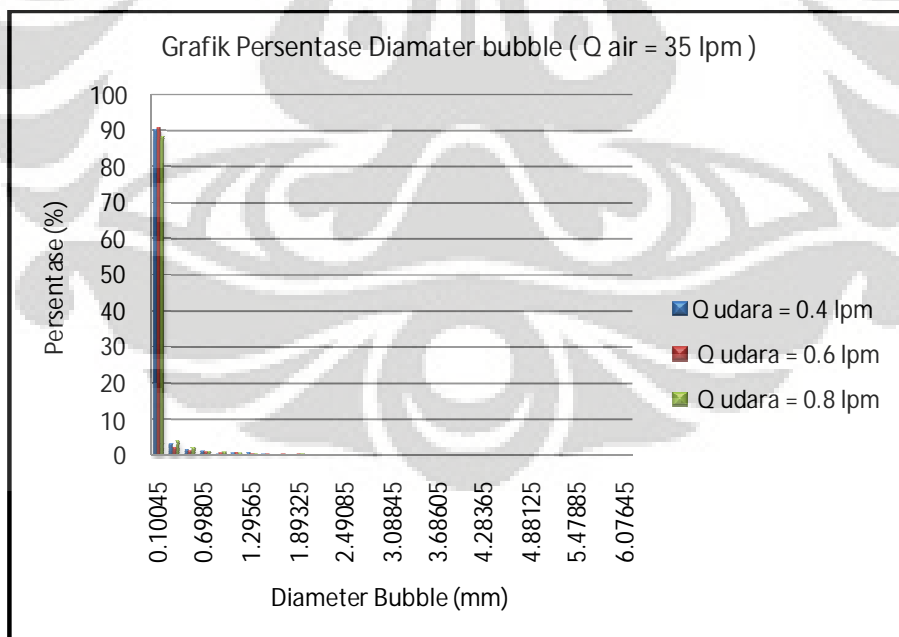


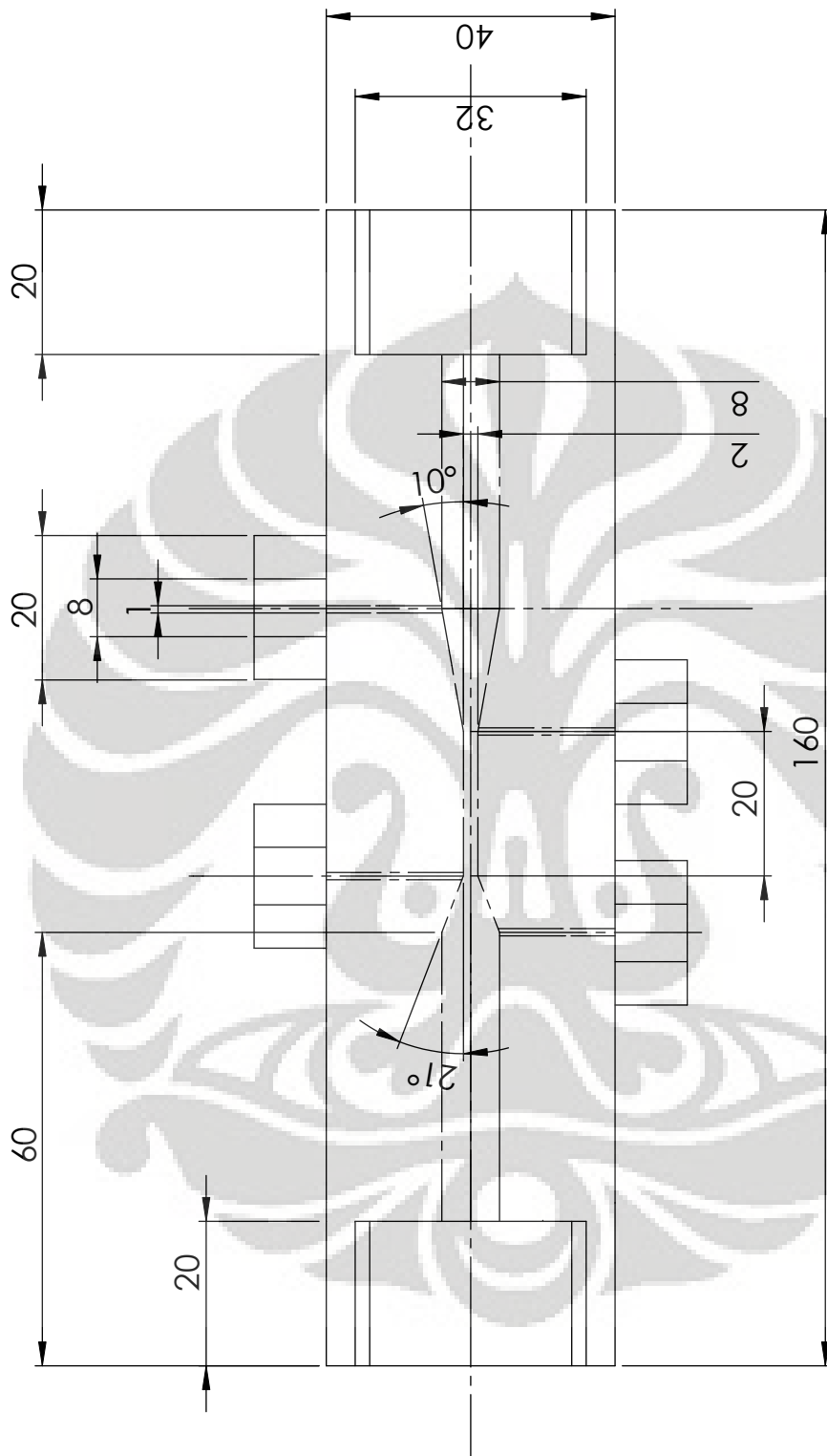
24	4.5825 - 4.7816	5	0.047934043	7	0.061815613	4	0.03703018
25	4.7817 - 4.9808	1	0.009586809	6	0.052984811	2	0.01851509
26	4.9809 - 5.18	3	0.028760426	4	0.035323207	3	0.027772635
27	5.1801 - 5.3792	2	0.019173617	2	0.017661604	1	0.009257545
28	5.3793 - 5.5784	2	0.019173617	5	0.044154009	2	0.01851509
29	5.5785 - 5.7776	1	0.009586809	1	0.008830802	4	0.03703018
30	5.7777 - 5.9768	0	0	1	0.008830802	3	0.027772635
31	5.9769 - 6.176	0	0	0	0	0	0
SUM		10431	100	11324	100	10802	100



KELAS	Interval	Q udara = 0.4 lpm		Q udara = 0.6 lpm		Q udara = 0.8 lpm	
		Jumlah	Persentase (%)	Jumlah	Persentase (%)	Jumlah	Persentase (%)
1	0.0009 - 0.2	10794	90.30368945	15551	91.5950053	13872	88.29482528
2	0.2001 - 0.3992	382	3.195850414	419	2.467899635	610	3.882630004
3	0.3993 - 0.5984	196	1.63975571	187	1.101425374	325	2.068614347
4	0.5985 - 0.7976	144	1.204718481	135	0.79514666	165	1.050219591
5	0.7977 - 0.9968	46	0.384840626	113	0.665567205	150	0.954745083
6	0.9969 - 1.196	79	0.660921944	107	0.630227353	98	0.623766788
7	1.1961 - 1.3952	87	0.727850749	80	0.471198021	77	0.490102476
8	1.3953 - 1.5944	45	0.376474525	64	0.376958417	56	0.356438164
9	1.5945 - 1.7936	30	0.250983017	29	0.170809283	48	0.305518427
10	1.7937 - 1.9928	23	0.192420313	38	0.22381906	78	0.496467443

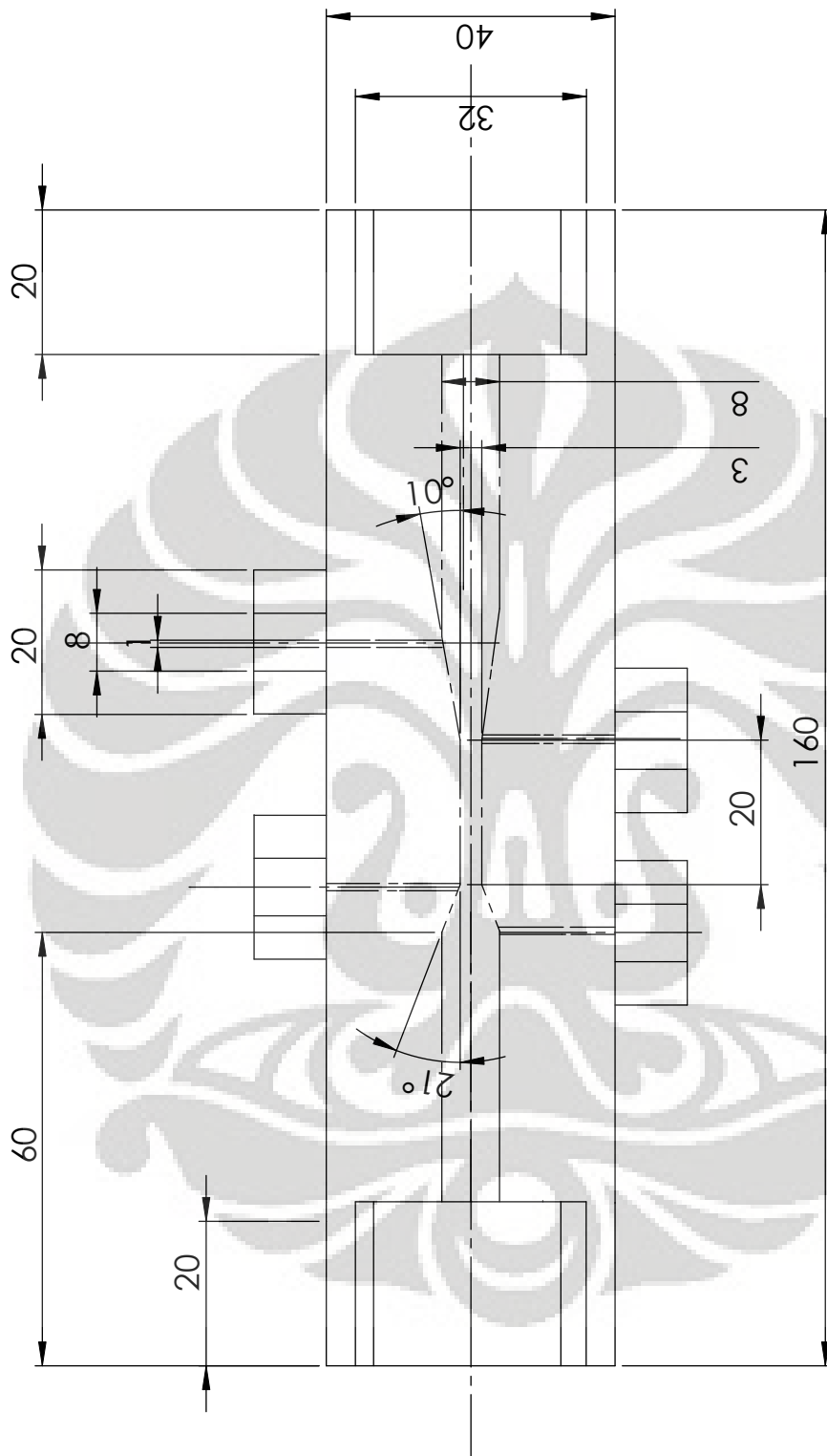
11	1.9929 - 2.192	20	0.167322011	21	0.123689481	45	0.286423525
12	2.1921 - 2.3912	21	0.175688112	15	0.088349629	22	0.140029279
13	2.3913 - 2.5904	11	0.092027106	37	0.217929085	20	0.127299344
14	2.5905 - 2.7896	7	0.058562704	45	0.265048887	19	0.120934377
15	2.7897 - 2.9888	11	0.092027106	35	0.206149134	16	0.101839476
16	2.9889 - 3.188	8	0.066928804	13	0.076569678	17	0.108204443
17	3.1881 - 3.3872	7	0.058562704	11	0.064789728	14	0.089109541
18	3.3873 - 3.5864	5	0.041830503	5	0.029449876	9	0.057284705
19	3.5865 - 3.7856	6	0.050196603	7	0.041229827	10	0.063649672
20	3.7857 - 3.9848	14	0.117125408	4	0.023559901	7	0.044554771
21	3.9849 - 4.184	3	0.025098302	7	0.041229827	7	0.044554771
22	4.1841 - 4.3832	1	0.008366101	11	0.064789728	21	0.133664312
23	4.3833 - 4.5824	2	0.016732201	5	0.029449876	10	0.063649672
24	4.5825 - 4.7816	2	0.016732201	2	0.011779951	5	0.031824836
25	4.7817 - 4.9808	4	0.033464402	6	0.035339852	4	0.025459869
26	4.9809 - 5.18	2	0.016732201	5	0.029449876	3	0.019094902
27	5.1801 - 5.3792	0	0	3	0.017669926	3	0.019094902
28	5.3793 - 5.5784	0	0	8	0.047119802	0	0
29	5.5785 - 5.7776	1	0.008366101	7	0.041229827	0	0
30	5.7777 - 5.9768	0	0	3	0.017669926	0	0
31	5.9769 - 6.176	2	0.016732201	5	0.029449876	0	0
SUM		11953	100	16978	100	15711	100



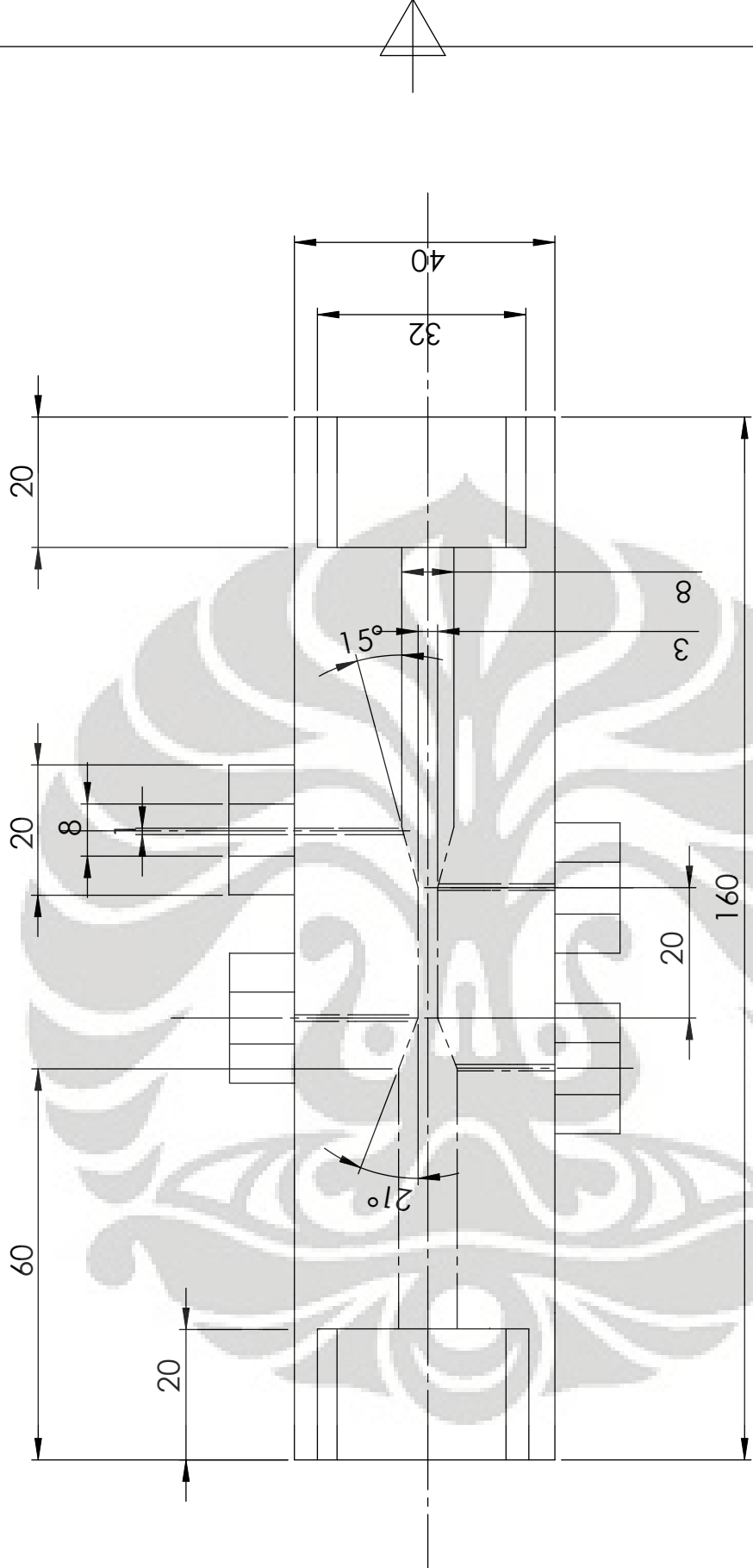


SKALA : 1 : 1		NAMA : NURSANTY E		PERINGATAN	
SATUAN : MM		NPM : 0606073392			
DTM- FUJ		VENTURI TYPE MICROBUBBLE GENERATOR		A4	

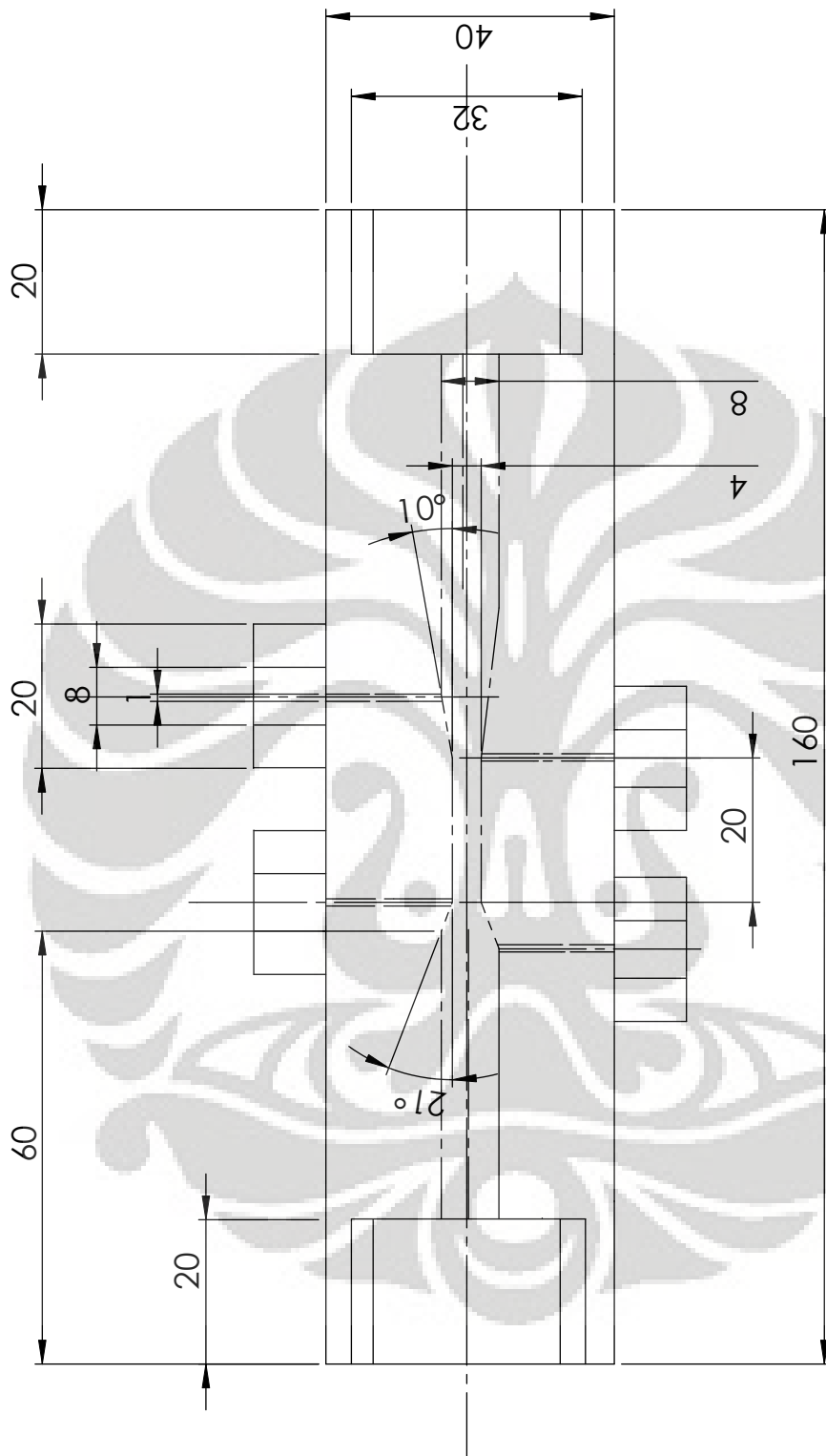




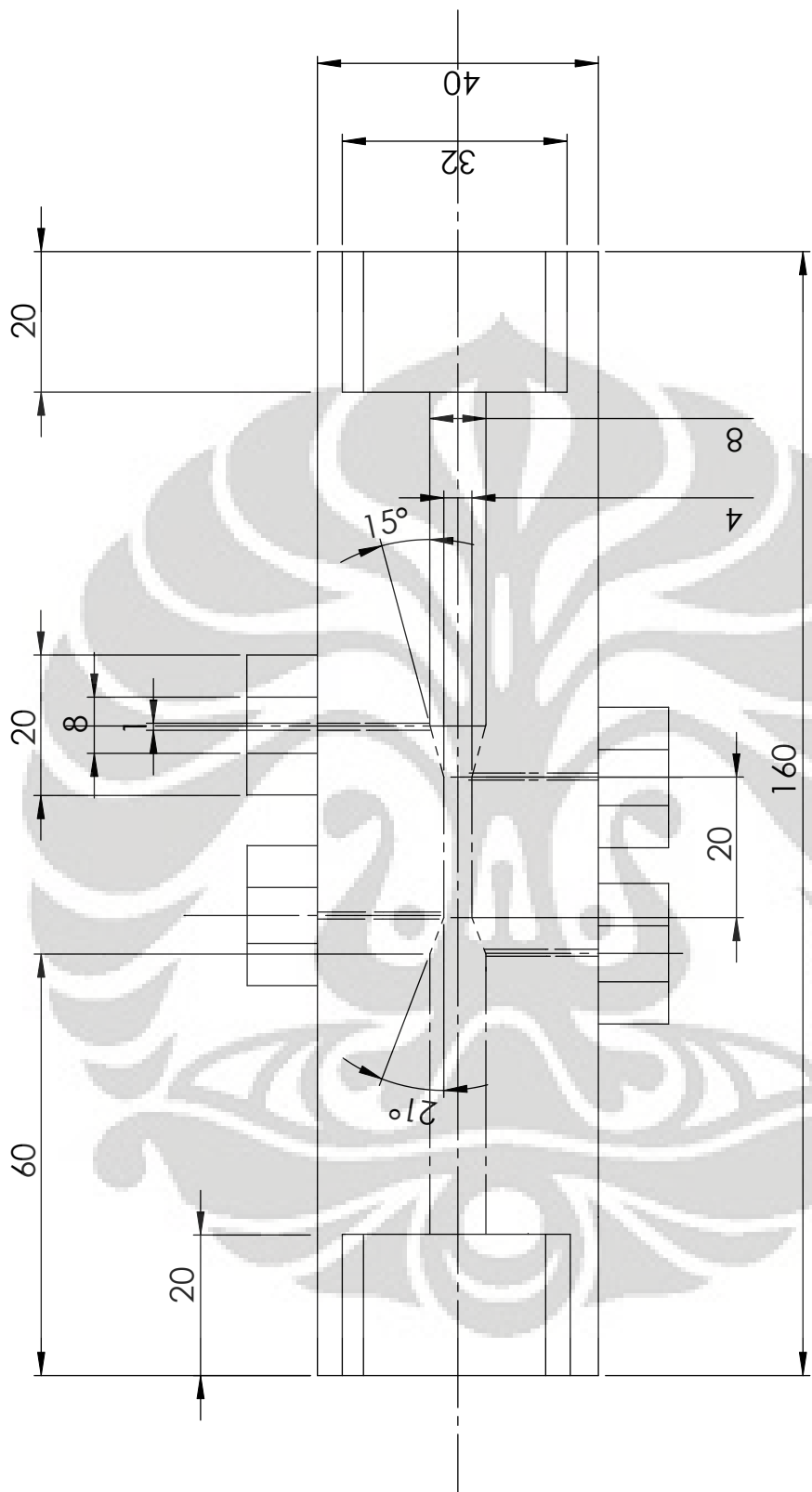
SKALA : 1 : 1 SATUAN : MM	NAMA : NURSANTY E	PERINGATAN
	NPM : 0606073392	
DTM- FUJ	VENTURI TYPE MICROBUBBLE GENERATOR	A4



SKALA : 1 : 1		NAMA : NURSANTY E		PERINGATAN	
SATUAN : MM		NPM : 0606073392			
DTM- FUJ		VENTURI TYPE MICROBUBBLE GENERATOR		A4	

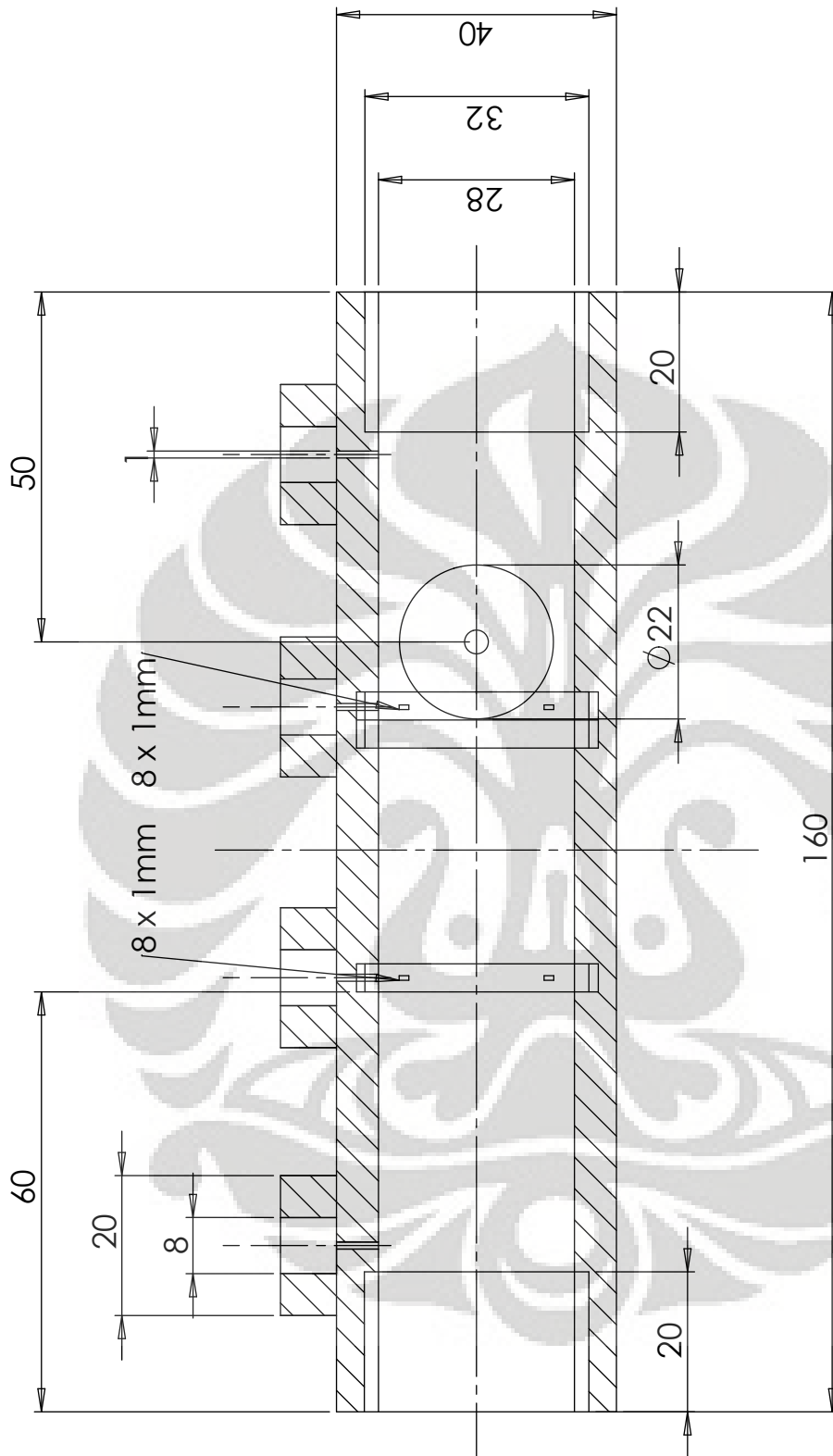


SKALA : 1 : 1	NAMA : NURSANTY E		PERINGATAN
	SATUAN : MM		
DTM- FUJ		VENTURI TYPE MICROBUBBLE GENERATOR	
			A4

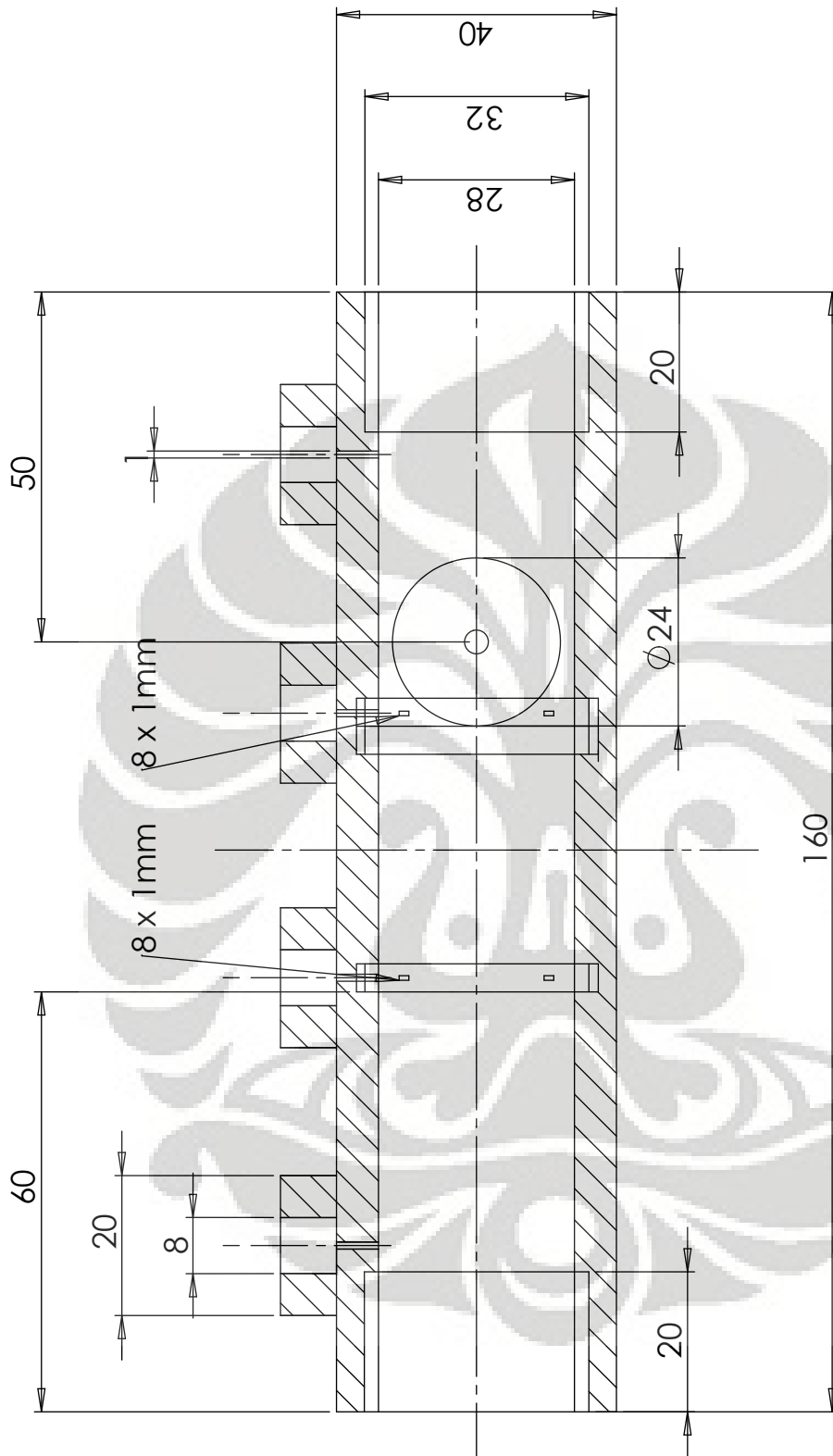


SKALA : 1 : 1	NAMA : NURSANTY E		PERINGATAN
	SATUAN : MM		
DTM- FUJ		VENTURI TYPE MICROBUBBLE GENERATOR	
			A4

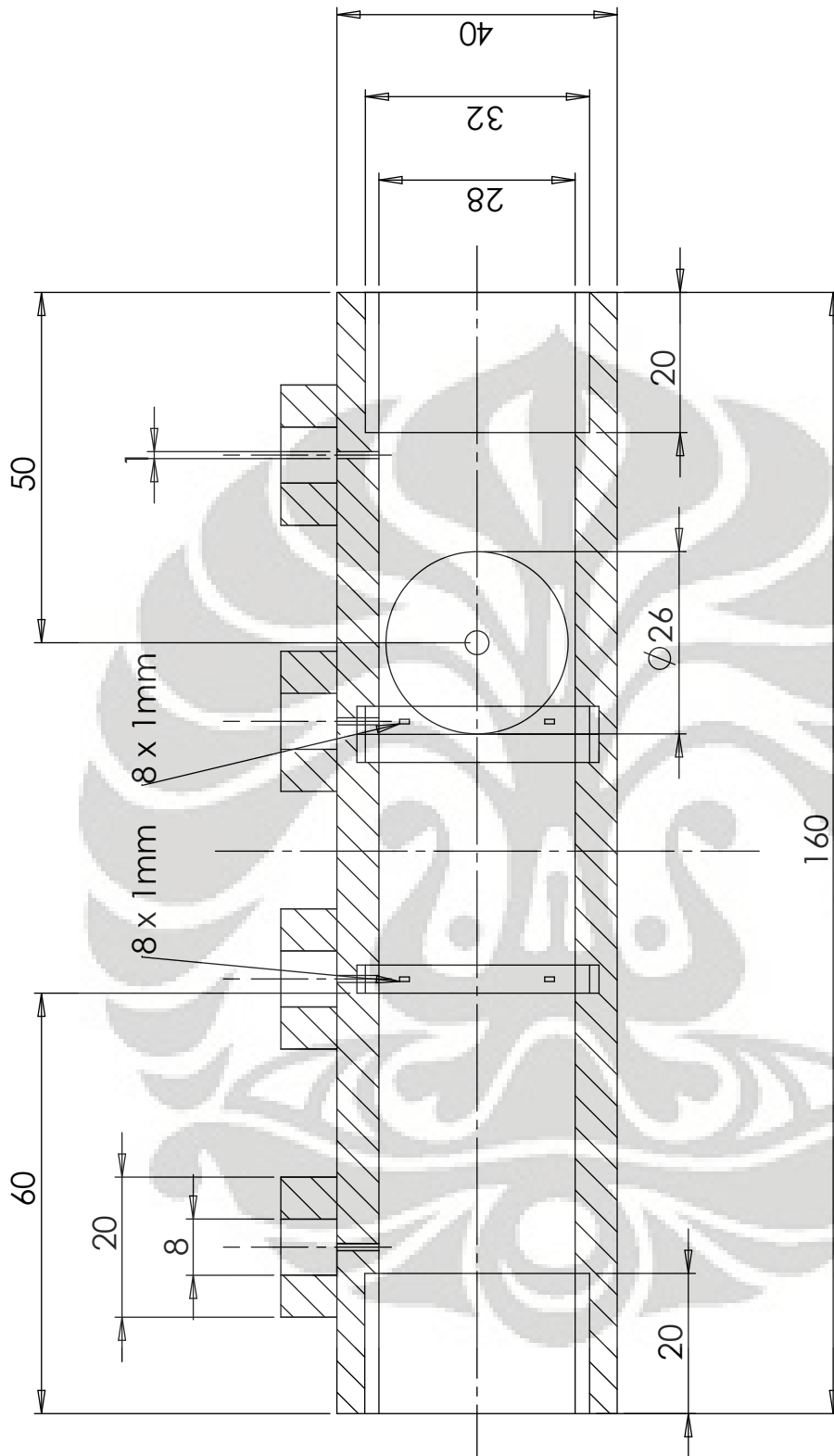




SKALA : 1:1	NAMA : NURSANTY E		PERINGATAN
	NPM : 0606073392		
DTM- FUJ	VENTURI TYPE MICROBUBBLE GENERATOR		A4



SKALA : 1:1	NAMA : NURSANTY E		PERINGATAN
	NPM : 0606073392		
DTM- FUJ	VENTURI TYPE MICROBUBBLE GENERATOR		A4



SKALA : 1:1	NAMA : NURSANTY E		PERINGATAN
	NPM : 0606073392		
DTM- FUJ	VENTURI TYPE MICROBUBBLE GENERATOR		A4