

## M6-007 Micro Bubble Generator dengan Metode Tabung Venturi

Warjito dan Hendro Sulisty Wibowo

Laboratorium Mekanika Fluida, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
Kampus Baru UI – 16424, Indonesia  
Telp: 021-7270032  
E-mail: Warjito@eng.ui.ac.id

### ABSTRAK

*Studi pembuatan gelembung udara berukuran mikro dengan Venturi tube type bubble generator telah dilakukan untuk memahami karakteristik gelembung mikro yang dihasilkan. Prinsip kerja alat ini adalah menginjeksikan udara ke dalam aliran air dalam tabung venturi. Perubahan penampang venturi akan mengubah pola aliran yaitu meningkatkan turbulensi dan tegangan geser, yang terjadi terutama didaerah leher venturi. Gaya geser dan turbulensi inilah yang menyebabkan gelembung udara terpecah-pecah menjadi gelembung dengan ukuran mikro. Gelembung mikro adalah gelembung dengan ukuran lebih kecil dari duaratus mikron. Dalam ilmu keteknikan, gelembung mikro digunakan dalam aerasi, untuk memanipulasi lapisan batas sehingga mengurangi hambatan dan lain sebagainya. Pemahaman tentang metode pembuatan dan karakteristik gelembung mikro sangat diperlukan sehingga penelitian di bidang ini menjadi suatu kebutuhan.. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah venturi mampu menghasilkan gelembung udara berukuran mikro, memahami faktor-faktor penentu ukuran gelembung yang dihasilkan dan distribusi ukuran gelembung sebagai fungsi flow rate ( $Re$ ). Penelitian dilakukan dengan menggunakan suatu waterloop terbuka, dengan test section berupa tabubg venturi. Aliran air diberikan oleh pompa dan aliran udara diberikan oleh "air pump". Discharge dari air dan gelembung mikro ditampung pada tanki pengamatan yang terbuat dari acrylic. Image gelembubung ditangkap dengan kamera digital dan kemudian diolah menggunakan software pemroses image untuk menentukan ukuran dan jumlah gelembung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ventury tube dapat digunakan untuk membuat gelembung berukuran mikro. Ukuran gelembung terkecil yang dihasilkan adalah 50 micron. Ukuran dan jumlah gelembung sensitif terhadap kecepatan aliran dan rasio perbandingan laju aliran air dan udara.*

*Keywords : Micro-bubble Generator, Tabung Venturi, Reynolds Number, ukuran gelembung, rasio perbandingan debit udara dan air.*

### 1. Pendahuluan

Gelembung mikro adalah gelembung dengan ukuran kurang dari 200 mikrometer. Aplikasi gelembung mikro dalam enjineri sangat menjanjikan diantaranya sebagai media untuk mengurangi hambatan pada alat transportasi air, aerasi dan sebagai media pengikat partikel dalam proses pengolahan air limbah.

Penelitian Hiroharu Kato dkk [1] menunjukkan introduksi gelembung mikro dalam aliran dapat memodifikasi lapisan batas dan pada akhirnya mengurangi gesekan. Penelitian yang lain [2] juga menunjukkan hal serupa. Lau Hou Wan dkk [3] menunjukkan bahwa proses pemisahan partikel dan air dalam pengolahan limbah menjadi lebih efektif dan murah dengan menggunakan gelembung

mikro. Gelembung mikro mengurangi dengan cepat TSS, BOD, dan COD, tanpa menggunakan bahan kimia selain koagulan.

Gelembung mikro dibuat dengan beberapa metode yang bisa dikategorikan menjadi tiga yaitu elektrolisis, porous material dan introduksi gas ke dalam shear flow. Metode elektrolisis menggunakan katode, anode dan sumber listrik sehingga air akan terurai menjadi gas  $H_2$  dan  $O_2$  yang berbentuk gelembung. Karakteristik gelembung yang dihasilkan dengan metode ini sangat dipengaruhi oleh ukuran kawat elektrode dan arus listrik. Metode ini mampu menghasilkan gelembung dengan ukuran mikro[4]. Gelembung mikro juga dibuat dengan mengalirkan gas melalui porous material di dalam suatu fluida. Lubang porous material berfungsi seperti nosel dengan jumlah banyak dan ukuran kecil.

Gelembung mikro juga dibuat dengan memasukkan gelembung udara ke dalam *shear flow*. Medan aliran dan turbulensi pada aliran ini akan menyebabkan gelembung tersebut pecah menjadi gelembung dengan ukuran yang lebih kecil [5,6]. Medan aliran seperti ini diperoleh dengan memasang konstriksi seperti orifice atau bola pada saluran berbentuk silinder[7]. Peralatan tersebut mampu menghasilkan gelembung dengan ukuran mikro.

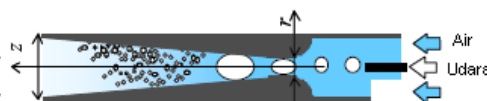
Beberapa metode pembuatan gelembung mikro telah diteliti namun demikian masih ada beberapa kekurangan yaitu dalam kepraktisan aplikasi sehingga masih dirasa perlu untuk mengeksplorasi metode-metode lain untuk membuat gelembung mikro. Salah satu metode tersebut adalah pembuatan gelembung mikro dengan tabung venturi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengungkapkan fenomena pembuatan gelembung mikro dengan tabung venturi sehingga hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan pemahaman karakteristik gelembung mikro yang lebih baik dan memberikan alternatif metode pembuatan gelembung mikro.

## 2. Pembentukan Gelembung Mikro Pada Tabung Venturi

Tabung venturi adalah saluran berbentuk silinder dengan perubahan penampang, terbagi dalam bagian konvergen, leher dan bagian divergen. Pada bagian konvergen, aliran akan mengalami penambahan kecepatan dan penurunan tekanan, dan pada bagian divergen hal sebaliknya terjadi.

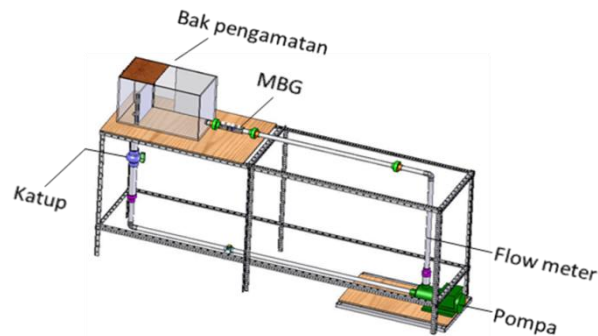
Penurunan tekanan serta penambahan kecepatan aliran yang terjadi di leher venturi akan mendispersikan gelembung menjadi ukuran mikro. Prinsip kerja dari pembuat gelembung mikro (*micro-bubble generator*) ini adalah dengan mengalirkan fluida air ke test section tabung venturi kemudian melalui lubang injeksi udara akan diinjeksikan masuk ke dalam venturi dan akan membentuk gelembung. Gelembung yang terbentuk akan mengalir menuju leher venturi dan akan didispersikan menjadi gelembung mikro setelah melewati leher venturi.



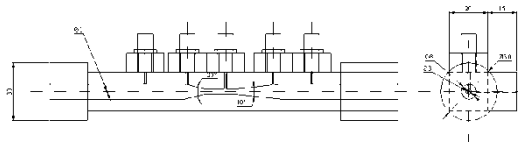
Gambar 1 Pembentukan gelembung mikro pada tabung venturi.

## 3. Set Up Percobaan

*Set up* peralatan uji berupa *water loop* terbuka seperti terlihat pada gambar 2, terdiri dari pompa, *flow meter* air, *test section* dan tanki pengamatan. *Test section* berupa tabung venturi dengan ukuran utama sebagai berikut: diameter pipa 8 mm ( $d_1$ ), diameter bagian leher venturi 3 mm ( $d_2$ ) dan sudut alfa yang digunakan adalah 15 derajat dan 10 derajat. Lima buah *pressure tap* dibuat sepanjang tabung venturi untuk mengukur tekanan sepanjang tabung venturi. Tekanan diukur dengan menggunakan manometer air. Gambar 3 menunjukkan tabung venturi. Inverter digunakan untuk mengatur kecepatan putar pompa, sehingga dapat diperoleh berbagai debit aliran air.



Gambar 2 *Water loop*



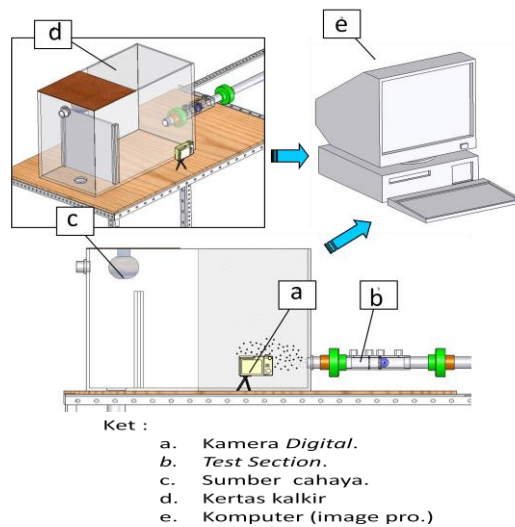
Gambar 3. *Test section*

### **Pengambilan Data**

Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran dan pengamatan terhadap tekanan statik aliran di *test section*, pengukuran debit aliran dan pengambilan gambar gelembung mikro. Gambar gelembung tersebut kemudian diolah dengan *image processing* untuk mendapatkan ukuran gelembung.

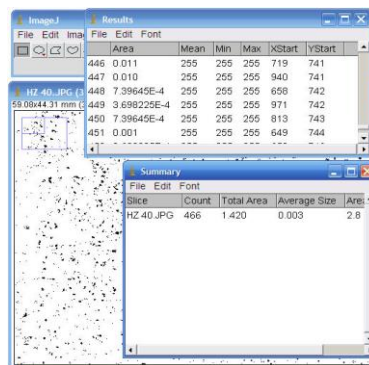
Pengukuran tekanan di *test section* dilakukan dengan menggunakan manometer yang dipasang pada *pressure tap* pada *upstream*, *vena contracta* dan *down stream*. Data tekanan diambil pada berbagai seting debit aliran air.

Gambar gelembung mikro yang dihasilkan direkam dengan menggunakan kamera digital. Pengambilan gambar dilakukan dengan menggunakan pencahayaan dari belakang (*back lighting*). Setup peralatan saat pengambilan gambar dapat dilihat pada gambar 4.



**Gambar 4 Skema Pengambilan Gambar**

Gambar gelembung mikro yang dihasilkan pada percobaan, diproses dengan menggunakan *image processor* yaitu ImageJ[8]. Hasil dari *image processing* berupa ukuran gelembung dan populasinya. Langkah-langkah yang dilakukan dalam *image processing* terdiri: *Open file, set scale, process find edges, process smooth, change to grayscale, binary* dan *analyze particle*. Detail prosedur *image processing* dapat diperoleh dari referensi 8. Hasil akhir *image processing* adalah ukuran individual gelembung dalam bidang ukur dan nilai *average* (rata-rata) dari seluruh gelembung yang diukur. Tampilan hasil akhir *image processing* dengan Image J dapat dilihat pada gambar 5.



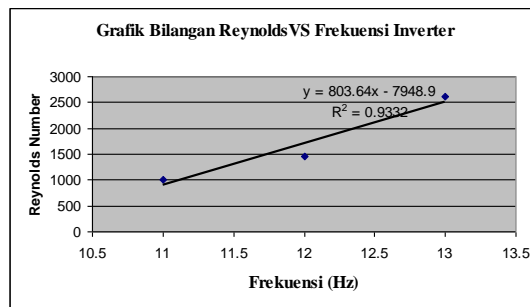
**Gambar 5. Tipikal hasil akhir pemroses image.**

## 4. Hasil dan Analisa Data

Data-data hasil pengukuran penelitian disajikan pada bagian berikut di bawah ini. Hasil penelitian tersebut meliputi hasil kalibrasi inverter, tekanan statik, pengamatan gelembung mikro dan ukuran gelembung dan distribusinya.

## *Inverter vs Reynolds number*

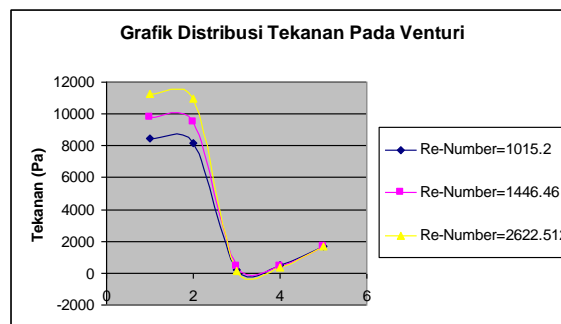
Hasil kalibrasi inverter disajikan pada grafik di gambar 6. Grafik ini menunjukkan hubungan antara seting inverter dengan bilangan Reynolds. Grafik ini selanjutnya digunakan dalam pengaturan debit dan Reynolds number selama penelitian. Hubungan frekuensi inverter dan bilangan Reynolds adalah linear.



**Gambar 6. Bilangan Reynold VS Frekuensi Inverter**

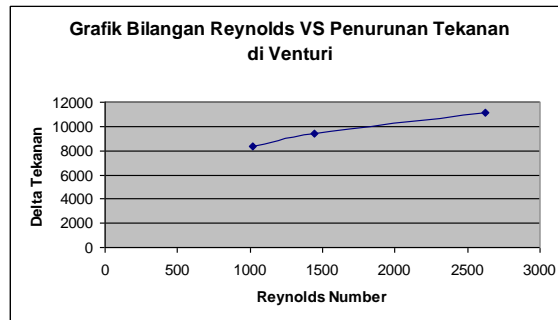
## *Distribusi tekanan*

Distribusi tekanan sepanjang tabung venturi diperlihatkan pada grafik di gambar 7. Seperti yang sudah lama diketahui, tekanan statik akan menurun tajam pada bagian konvergen dengan nilai penurunan maksimum terjadi disekitar leher dan kemudian tekanan naik kembali saat mencapai bagian divergen tabung venturi.



**Gambar 7. Distribusi tekanan VS Re**

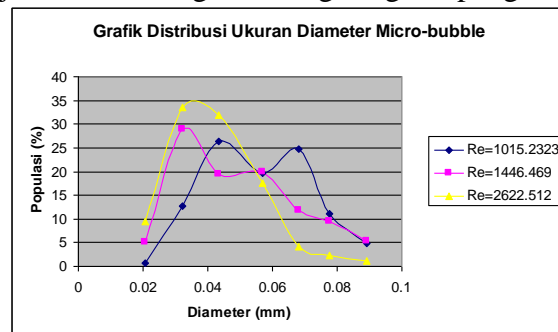
Gambar 8 menunjukkan beda tekanan yaitu selisih tekanan terbesar dan tekanan terkecil. Tekanan sepanjang tabung venturi sensitif terhadap bilangan Reynolds, sehingga jatuh tekanan juga akan semakin besar jika bilangan Reynolds semakin besar.



Gambar 8. Jatuh tekanan (delta tekanan) VS Re

## Gelembung Mikro

Grafik pada gambar berikut menunjukkan distribusi ukuran gelembung sebagai fungsi bilangan *Reynolds*. Grafik ini menunjukkan ukuran gelembung sangat dipengaruhi oleh bilangan *Reynolds*.



Gambar 9 Distribusi populasi dan ukuran gelembung VS Re

## Analisa Data

### Pengaruh Kecepatan Aliran Air

Dari data hasil pengukuran kecepatan aliran air terhadap terbentuknya gelembung mikro, menunjukkan pola yang seragam. Terlihat bahwa setiap kenaikan kecepatan aliran yang ditandai dengan penambahan frekuensi putaran pompa yang berarti menambah debit aliran masuk ke venturi, akan menghasilkan ukuran gelembung mikro yang semakin mendekati toleransi ukuran yang diharapkan yaitu 50 mikron. Hal ini tidaklah mengherankan, karena sesuai dengan fenomena yang terjadi pada venturi bahwa penambahan kecepatan akan diikuti oleh peningkatan turbulensi aliran setelah melewati daerah *vena contracta* yang berarti akan mendispersikan gelembung menjadi lebih kecil. Dari gambar 9, dapat diketahui pengaruh dari bilangan *Reynolds* terhadap pembentukan gelembung yang terjadi. Pada bilangan *Reynolds* 1015.2 dan 1446.46 jenis alirannya adalah laminar. Pada aliran ini gelembung mikro yang terbentuk tidaklah homogen sehingga didapatkan bentuk grafik multimodal. Pada aliran dengan bilangan *Reynolds* 2622.512, termasuk jenis aliran transisi, gelembung mikro yang terbentuk mulai homogen.

## Pengaruh Perbedaan Tekanan

Perubahan tekanan sepanjang tabung venturi ditentukan oleh kecepatan aliran air ( $Re$ ), seperti ditunjukkan oleh gambar 7 dan 8. Sehingga dapat juga ditarik hubungan yang menyatakan bahwa faktor perubahan tekanan yang terjadi di dalam venturi sangat mempengaruhi ukuran gelembung mikro yang akan terbentuk. Semakin besar perbedaan tekanan yang terjadi maka bubble akan didispersikan menjadi ukuran yang lebih kecil dan dalam jumlah yang lebih banyak. Bila dua gambar ini dibandingkan maka akan terdapat hubungan yang berbanding terbalik yaitu dengan memperbesar bilangan *Reynolds* yang berarti memperbesar perbedaan tekanan yang terjadi didalam venturi maka ukuran gelembung mikro yang terbentuk akan semakin kecil dan masuk ke dalam daerah toleransi yang diharapkan yaitu dengan ukuran 50 mikron.

Pada bilangan *Reynolds* 1015.2, persentase ukuran gelembung yang masuk ke dalam toleransi ukuran yang diharapkan adalah 39.6% sedangkan pada bilangan *Reynolds* 1446.46 adalah 43% dan bilangan *Reynolds* 2622.51211 adalah 75 %. Data ini diambil dengan menganalisa populasi bubble yang terbentuk dan yang tertangkap gambar camera serta mengelompokkannya ke daerah distribusi ukuran gelembung mikro.

## Pengaruh Rasio Perbandingan Kecepatan Aliran Udara Injeksi

Dalam pembentukan gelembung mikro, rasio debit aliran udara dengan aliran air juga mempengaruhi ukuran gelembung yang akan dihasilkan. Pengamatan pada penelitian ini menunjukkan bahwa rasio debit udara dan debit air mempengaruhi ukuran gelembung. Rasio debit yang besar menghasilkan populasi gelembung dengan ukuran mikro yang semakin banyak.

## Analisa ketidakpastian (error analysis)

Dalam analisa ketidakpastian ini data yang dihitung adalah data ukuran gelembung. Analisa ketidakpastian dimulai dengan menghitung rata-rata (*mean*) data ukuran *bubble* yang diperoleh, kemudian dilanjutkan dengan menghitung ketidakpastian data sehingga dapat disimpulkan persentase ketidakpastian data pengukuran yang diperoleh untuk setiap variasi kecepatan.

Nilai rata-rata (*mean*) diameter gelembung pada penelitian ini adalah 0.0095 mm untuk  $Re$  1015, 0.048 mm untuk  $Re$  1446 dan 0.051 mm untuk  $Re$  2622. Ketidakpastian nilai rata-rata adalah 0,003 mm untuk  $Re$  1015, 0.001 mm untuk  $Re$  1446 dan 0.001 mm untuk  $Re$  2622.

Dari data diatas dapat dihitung ketidakpastian *mean* dari masing-masing variasi kecepatan yang diwakili dengan variasi besarnya bilangan *Reynolds*. Nilai ketidakpastian terbesar adalah 0.003.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan data, hasil pengolahan data dan analisa data yang dilakukan, kesimpulan dari penelitian ini adalah :

- *Micro-bubble generator* dengan metode venturi tube dapat digunakan untuk menghasilkan gelembung mikro.
- Ukuran gelembung mikro sensitif terhadap bilangan *Reynolds*. Semakin besar bilangan *Reynolds* semakin kecil ukura gelembung yang terjadi dan semakin seragam.

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

- Pengamatan juga menunjukkan bahwa ukuran gelembung juga dipengaruhi rasio debit air terhadap debit udara.

## References

- [1] Hiroharu Kato, Kento Miura, Hajime Yamaguchi, and Masaru Miyanaga, *Experimental study on ejection method for frictional drag reduction*, Journal Marine Science Technology, 3 (1998) 122 - 129.
- [2] Xiaochun Shen, Steven L Ceccio, Marc Perlin, *Influence of bubble size on micro-bubble drag reduction*, Experiment in Fluids, 41 (2006) 415 – 424.
- [3] Lau Hao Wen, Patththil Madhav Menon, Ng Kim Choon, *Waste water treatment by micro air and ozone bubbles*, International Review of Mechanical Engineering, xx (2007).
- [4] Warjito, Diki Darmawan, *Electrolitic micro bubble generator*, Prisiding Seminar Nasional Teknik Mesin ke VII (SNTTM-VII), Manado, 2008.
- [5] Warjito, Osamu Mochizuki, Masaru Kiya, *Bubbly flow undergoing a steep pressure gradient*, Experimental in Fluids 33 (2002), 620-628
- [6] Warjito, O. Mochizuki, M. Kiya, *Dynamics of bubble passing through an orifice*, Journal of Japan Society of Fluid Mechanics; Nagare, vol 20 (2001), 147-148.
- [7] Warjito, Marttriadi Laksana, *Micro bubble generator dengan metode spherical ball dalam pipa*, Prisiding Seminar Nasional Teknik Mesin ke VII (SNTTM-VII), Manado, 2008.
- [8] [www.rsb.nih.gov/ij](http://www.rsb.nih.gov/ij), 20 Juli 2007