

## Micro Bubble Generator Dengan Metode Spherical Ball Dalam Pipa Beraliran

Warjito dan Martriadhi Laksana

Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI, Depok

E-mail: warjitoi@hotmail.com

### Abstrak

*Studi pembentukan gelembung mikro (micro bubble) dengan menggunakan peralatan berupa bola yang dipasang di dalam pipa (spherical ball inside pipe) telah dilakukan untuk memahami parameter-parameter yang menentukan unjuk kerja alat tersebut. Alat ini bekerja berdasarkan hukum Bernoulli, yaitu hubungan antara kecepatan dan aliran. Dengan adanya bola dalam pipa, maka aliran akan dipercepat dan tekanan akan turun. Karena tekanan turun di bawah tekanan atmosfir, udara luar akan terhisap masuk ke dalam aliran dan terbentuklah gelembung yang selanjutnya dengan tegangan geser yang besar dalam aliran gelembung tersebut dipecah menjadi gelembung dengan ukuran mikro.*

*Percobaan dilakukan dengan menggunakan rasio diameter pipa (dp) dan diameter bola (db) tetap yaitu 1,08 . Aliran kecepatan divariasikan untuk mendapatkan berbagai nilai Reynolds number. Selama percobaan, distribusi tekanan sepanjang alat uji diukur, dan gelembung mikro yang dihasilkan diukur dengan meode image processing.*

*Hasil studi ini menunjukkan bahwa peralatan ini mampu menghasilkan gelembung dengan ukuran mikro (< 200  $\mu\text{m}$ ). Ukuran gelembung dipengaruhi oleh bilangan Reynolds, semakin besar bilangan Reynolds semakin kecil ukuran bubble yang dihasilkan.*

*Kata kunci : Gelembung mikro, rasio diameter pipa dan diameter bola, bilangan Reynolds*

## 1. Pendahuluan

Gelembung adalah phenomena terperangkapnya fase gas dalam cairan. Phenomena ini dapat terjadi karena berbagai sebab: entrainment, proses kimia, dan lain-lain. Gelembung juga muncul karena sengaja dibuat untuk keperluan tertentu seperti flotasi, aerasi dan sebagainya. Begitu banyak aplikasi yang dapat dilakukan dengan menggunakan gelembung sehingga pemahaman masalah pembuatan dan karakteristik gelembung menjadi subyek penelitian yang menarik. Beberapa aplikasi gelembung adalah dalam bidang *drag reduction*, pembersihan mikroorganisme pada kerang, pengolahan limbah, teknologi pemindaian penyakit dalam dan untuk pembasuh badan [1].

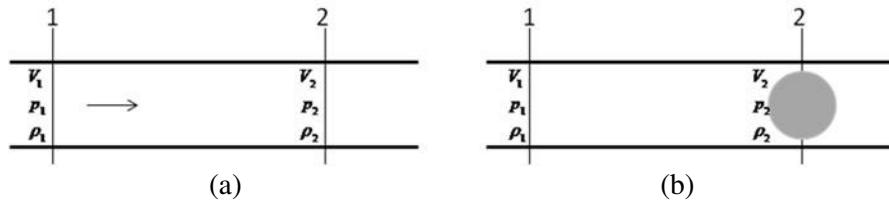
Gelembung dengan ukuran mikro (*Micro Bubbles*) adalah gelembung dengan diameter kurang dari 200  $\mu\text{m}$ . Gelembung ini mempunyai karakteristik luas permukaan kontak yang besar dan waktu tinggal (*retention time*) yang tinggi sehingga cocok untuk aerasi karena memungkinkan proses difusi gas ke dalam cairan berjalan dengan baik[2]. Gelembung dengan ukuran ini juga digunakan untuk meningkatkan ultrasonografi.

Ada beberapa penelitian mengenai proses atau metode pembuatan gelembung, diantaranya adalah pembuatan gelembung dengan menggunakan nozzle, plat porus (*porous plate*), tabung venturi (*ventury tube type bubble generator*)[3]. Hasil penelitian tersebut telah meningkatkan pemahaman terhadap karakteristik gelembung dan menghasilkan alat pembangkit gelembung mikro, namun demikian umumnya penelitian tersebut masih memerlukan alat mengumpulkan udara/gas sehingga untuk beberapa aplikasi dirasa kurang praktis. Sehingga dirasa perlu untuk terus melakukan penelitian untuk mendapatkan peralatan pembangkit gelembung yang lebih baik.

Penelitian ini bertujuan membangun alat pembangkit gelembung mikro dan memahami karakteristiknya. Alat tersebut diharapkan tidak memerlukan alat pengumpulan gelembung (kompresor) sehingga lebih sederhana dan praktis.

## 2. Prinsip Kerja Micro Bubble Generator

Prinsip kerja peralatan pembangkit gelembung ukuran mikro berdasarkan pada persamaan Bernoulli dan hukum kekekalan masa. Persamaan Bernoulli menunjukkan bahwa jumlah energi fluida yang mengalir dalam suatu saluran: energi potensial, tekanan dan gerak adalah tetap. Penjelasan persamaan Bernoulli dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Aliran fluida di dalam suatu saluran, a) tanpa penghalang; b) dengan penghalang

Persamaan Bernoulli untuk kedudukan 1 dan 2 pada gambar 1a dapat ditulis sebagai berikut[4]:

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{V_1^2}{2.g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{V_2^2}{2.g} + Z_2 \quad (1)$$

Saluran horizontal,  $Z_1 = Z_2$ , persamaan Bernoulli disederhanakan menjadi

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{V_1^2}{2.g} = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{V_2^2}{2.g} \quad (2)$$

Hubungan kecepatan di posisi 1 dan 2 dapat diperoleh dari hukum kekekalan masa,

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 \quad (3)$$

Dari persamaan di atas, pada aliran air (fluida tak mampu mampat) maka perubahan kecepatan hanya bergantung pada perubahan luas penampang laluannya  $A$ .

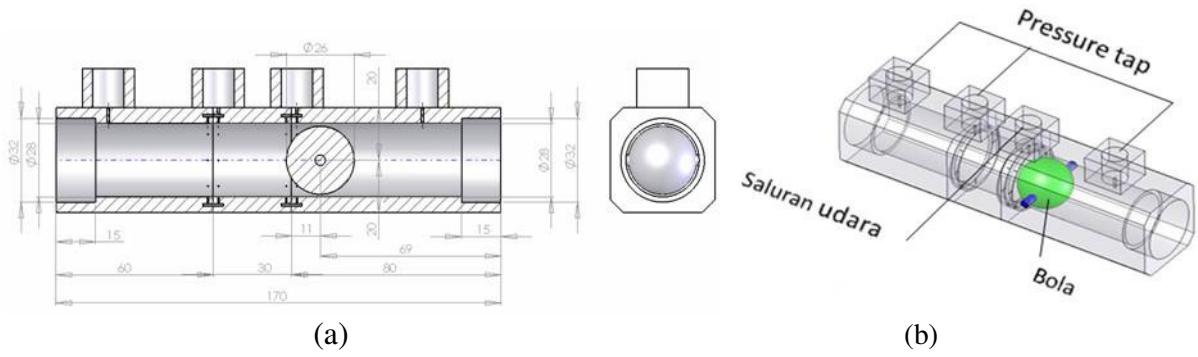
Perhatikan gambar 1b, jika pada saluran dipasang suatu penghalang berupa bola di posisi 2, maka luas saluran di posisi ini ( $A_2$ ) akan berkurang dan menyebabkan kecepatan aliran di posisi ini ( $V_2$ ) bertambah. Dari persamaan (2) kita bisa dapatkan tekanan di posisi 2 ( $p_2$ ) akan berkurang. Dengan mengatur luas saluran di posisi 2, kita bisa dapatkan tekanan di posisi tersebut menjadi vakum, sehingga mampu menyedot udara atmosfer masuk ke dalam saluran.

Udara yang terhisap masuk ke dalam saluran akan membentuk gelembung. Medan aliran di bagian downstream bola dicirikan dengan tingkat turbulensi yang tinggi, sehingga udara yang masuk akan membentuk gelembung dengan ukuran mikro.

## 3. Setup Penelitian

### *Setup Peralatan*

Konstruksi alat pembangkit gelembung mikro (*micro bubble generator, MBG*) selanjutnya disebut MBG dapat dilihat pada gambar 2. Alat ini terbuat dari bahan acrilic dengan diameter dalam 28 mm dan panjang 170 mm. Di bagian tengah di pasang bola dari bahan plastik dengan diameter 26 mm. Perbandingan diameter pipa dan bola adalah 1,08. Angka ini diperoleh setelah beberapa percobaan dengan berbagai perbandingan menunjukkan hasil yang memuaskan pada range percobaan.



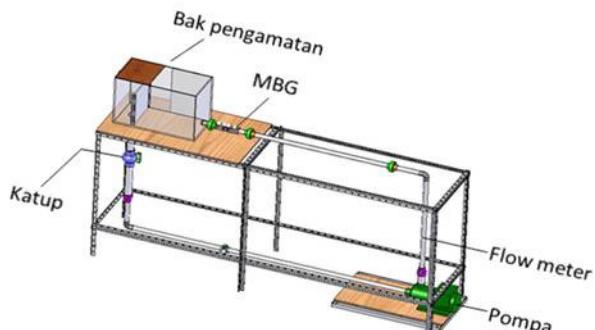
Gambar 2 Micro Bubble Generator

MBG di pasang pada pipa horizontal sebagai bagian dari water loop, seperti terlihat pada gambar 3. Water loop dilengkapi dengan flow meter, pompa, katup pengatur dan bak penampung yang juga berfungsi sebagai bak pengamatan gelembung yang dihasilkan.

#### Pengambilan Data

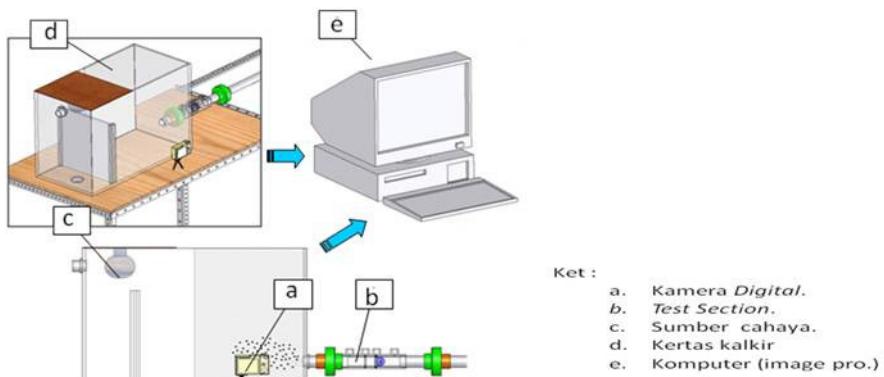
Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran dan pengamatan terhadap tekanan statik aliran di test section, pengukuran debit aliran dan pengambilan gambar gelembung mikro. Gambar gelembung tersebut kemudian diolah dengan image processing untuk mendapatkan ukuran gelembung.

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



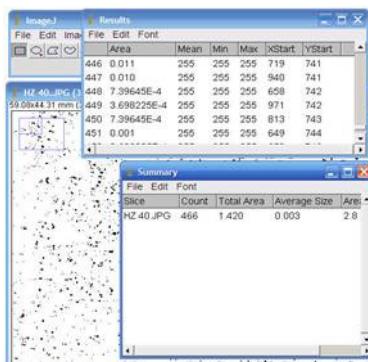
Gambar 3 Skematic water loop dengan test section (MBG)

Gambar gelembung mikro yang dihasilkan MBG 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 *Micro-bubbles* yang dihasilkan pada percobaan, diproses dengan menggunakan *image processor* yaitu ImageJ[5]. 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 5. 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.



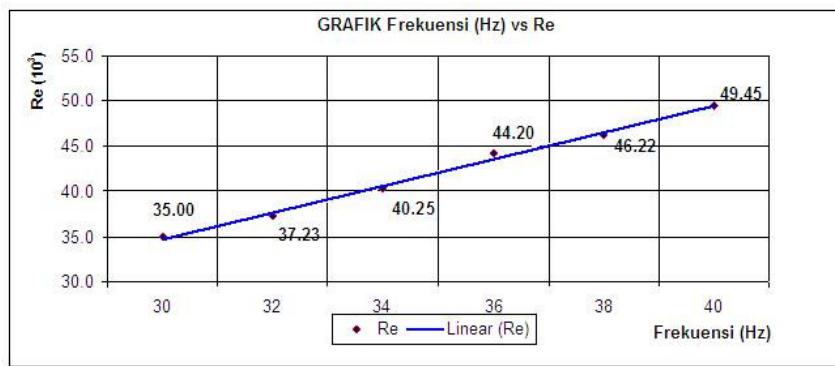
Gambar 5 Hasil Akhir *image processing* dengan *Image J*.

#### 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*

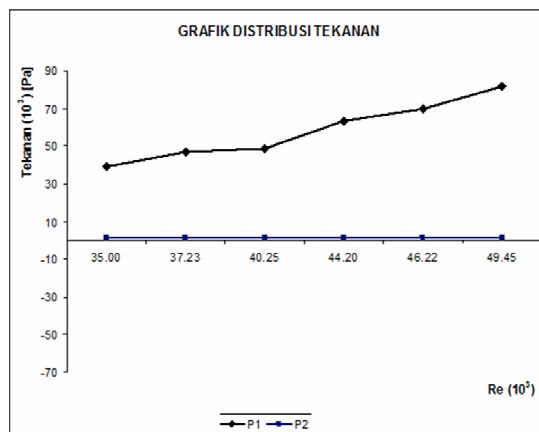
Hasil kalibrasi inverter disajikan pada grafik di gambar 6. Grafik ini menunjukkan hubungan antara setting inverter dengan bilangan Reynolds. Grafik ini penting untuk kelancaran dan akurasi penelitian, yaitu debit air dan juga bilangan Reynolds aliran dapat divariasikan dengan mengubah setting inverter. Hubungan frekuensi inverter dan bilangan Reynolds adalah linear.



Gambar 6 Frekuensi inverter (Hz) vs  $Re (10^3)$

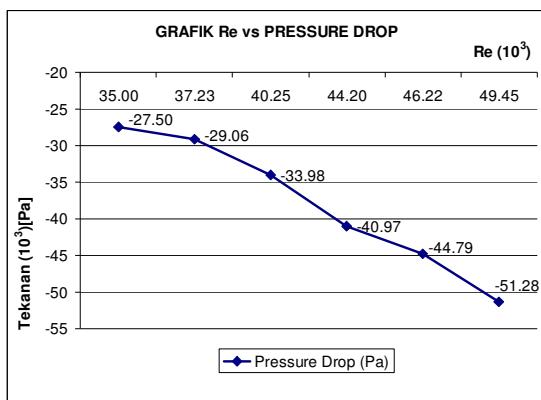
### Bilangan Re vs Tekanan

Bilangan Reynolds dengan tekanan adalah seperti terlihat pada grafik di gambar 7.  $p_1$  adalah tekanan pada upstream bola dan  $p_2$  adalah tekanan pada downstream bola. Tekanan pada sisi upstream naik dengan naiknya bilangan Re. Hal ni dapat dijelaskan sebagai berikut, dengan bertambahnya bilangan Re, berarti kecepatan aliran bertambah, dengan adanya bola pada pipa maka luas laluan mengecil dan sebagian dari energi aliran berubah menjadi energi tekanan sehingga tekanan pada sisi upstream naik,  $p_1$  naik.  $p_2$  relatif konstan karena dekat dengan tanki pengamatan dan tekanan pada titik ini tergantung tekanan hidrostatik pada tangki.



Gambar 7 Bilangan Re vs Tekanan pada upstream dan downstream bola

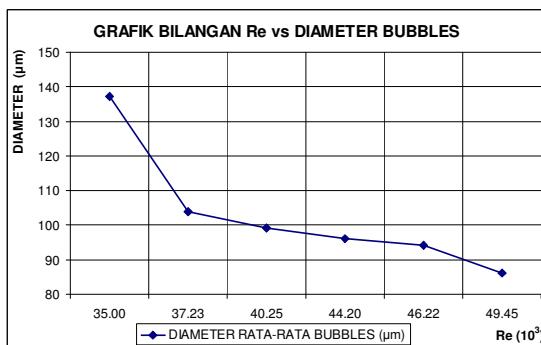
Selisih tekanan pada vena contracta dengan tekanan pada upstream dinyatakan sebagai pressure drop, disajikan pada grafik di gambar 8. Grafik ini juga menunjukkan bahwa nilai jatuh tekanan akan berbanding lurus terhadap naiknya nilai bilangan Re dari aliran fluida.



Gambar 8 Bilangan Re vs Pressure Drop

### Bilangan Re vs Ukuran Gelembung

Hubungan antara bilangan Re dengan ukuran gelembung disajikan pada grafik di gambar 9 dan 10. Grafik pada gambar 9 menunjukkan hubungan Re dengan diameter rata-rata gelembung yang dihasilkan. Ukuran gelembung berbanding terbalik terhadap bilangan Re. Semakin besar nilai bilangan Re, maka ukuran rata-rata diameter gelembung semakin kecil.

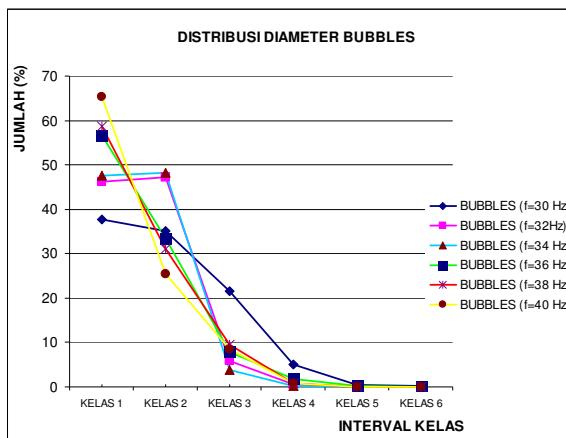


Gambar 9 Bil. Re vs Diameter rata-rata gelembung

Gelembung yang dihasilkan oleh MBG mempunyai ukuran yang tidak seragam. Grafik pada gambar 10 menunjukkan distribusi ukuran gelembung pada berbagai bilangan Reynold. Diameter gelembung dikelompokkan menjadi beberapa kelas, yaitu kelas 1 sampai dengan kelas 6. Kelas 1 adalah gelembung terkecil dengan diameter di interval 0,02 s.d 0,1 mm dengan nilai frekuensi terbanyak. Gelembung kelas 6 dengan diameter gelembung terbesar yaitu pada interval 0,47 s.d 0,55 dengan nilai frekuensi terkecil.

### Visualisasi Micro Bubbles

Hasil visualisasi *microbubble* diambil dengan menggunakan kamera SLR digital 6,3 Megapixel. Image hasil *capture* ini cukup baik dan memadai untuk diolah pada *image processing* ImageJ[5]. Contoh gambar gelembung mikro dapat dilihat pada gambar 11. Di bawah ini. Hasil ini beserta pengamatan langsung saat penelitian juga menunjukkan bahwa MBG dapat menghasilkan gelembung dengan ukuran sangat halus.



Gambar 10 Distribusi gelembung berdasarkan diameter



Gambar 11 Foto Gelembung mikro ( $Re = 49,45 \cdot 10^3$ )

## 5. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa MBG tanpa menggunakan alat mengumpam udara dapat menghasilkan gelembung dengan ukuran mikro. Karakteristik alat ini adalah sebagai berikut:

- Diameter gelembung yang dihasilkan adalah  $\leq 200 \mu\text{m}$ .
- Ukuran diameter gelembung, dipengaruhi oleh nilai bilangan  $Re$ . Semakin besar nilai bilangan  $Re$ , diameter gelembung yang dihasilkan akan semakin kecil.
- Pada percobaan ini, diameter rata – rata dengan ukuran terkecil yang dihasilkan adalah  $86 \mu\text{m}$ .

## Daftar Acuan

<http://www.kumin.ne.jp/aura-tec/milky.pdf>, 08 Agustus 2007

<http://www.wipo.int/pct/db/en/wo.js>, 08 Agustus 2007

<http://www.turbulence-ctrl.gr.jp>, 10 Agustus 2007

Munson, Bruce R., Young, Donald F., & Okiishi, Theodore H., "Mekanika Fluida Jilid 2", Erlangga, 2006

[www.rsb.nih.gov/ij](http://www.rsb.nih.gov/ij), 20 uli 2007