

## Studi Eksperimen Mengenai Pengaruh Parameter Fundamental Terhadap Pola Aliran Microbubble

### Experimental Study on the Effect of Fundamental Parameter on Microbubble Flow Pattern

Ahmad Tohani<sup>1</sup>, Anggita Gigih<sup>1</sup>, Deendarlianto<sup>1</sup>, Wiratni<sup>2</sup>, Alva Edi Tontowi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Jalan Grafika No. 2, Yogyakarta 55281

Email : ahmad.tohani@mail.ugm.ac.id

#### Abstrak

*Microbubble Generator* merupakan suatu alat yang difungsikan untuk menghasilkan gelembung udara dalam ukuran mikro, yaitu gelembung dengan diameter  $\leq 200 \mu\text{m}$  yang pada awalnya telah dikembangkan dalam bentuk kajian dasar dinamika fluida. Aplikasi *microbubble* telah banyak digunakan, diantaranya untuk meningkatkan kualitas air yang terpolusi hasil buangan limbah industri, membantu perkembangan kerang laut agar terhindar dari mikro-organisme, mendiagnosa luka yang diakibatkan oleh kanker dengan cara menyuntikkan gelembung tersebut melalui peredaran darah, dan dalam luas permukaan tertentu *microbubble* juga dapat melakukan penetrasi secara dalam ke permukaan kulit dengan memberikan efek gogokan yang baik tanpa perlu menggunakan shampoo atau sabun.

*Microbubble* dapat dihasilkan dengan beberapa cara yang berbeda dan karakteristik yang berbeda pula. Diantara beberapa cara tersebut antara lain dengan menggunakan *elektrolytic microbubble generation*, *porous plate* (PP), *ventury tube type bubble generator*, dan *spherical body in a flowing water tube* yang pada intinya menggunakan prinsip kavitasii sehingga terbentuk gelembung udara skala mikro. *Microbubble generator* yang kami gunakan pada prinsipnya, udara secara otomatis akan terhisap karena tekanan vakum yang dihasilkan di dalam generator. Udara yang terhisap akan dirubah menjadi sejumlah gelembung berukuran kecil oleh *shear flow* dari air yang berada dalam *generator*. Dari hasil pengamatan visual diketahui bahwa jenis aliran yang terjadi di dalam *microbubble generator* adalah jenis aliran *rotational flow*, yang terjadi sebagai akibat dari aliran air bertekanan yang di alirkan secara tegak lurus sumbu aksial, sehingga aliran fluida akan bergerak memutar melewati dinding secara spiral menuju outlet dari *microbubble generator*. Dari hasil ujicoba ditemukan debit aliran udara dan air optimal yang masuk pada *microbubble generator*, jarak aksial optimal bola pejal terhadap lubang masuk udara, dan dikonfirmasi dapat menghasilkan *microbubble* dengan intensitas dan kandungan oksigen yang lebih tinggi.

**Keywords:** *microbubble generator*, *microbubble*, *spherical body in a flowing water tube*, *fundamental parameter*

#### 1. Pendahuluan

*Micro bubble* adalah gelembung udara yang memiliki diameter berukuran kurang dari  $200 \mu\text{m}$  di dalam air. *Micro bubble* pada umumnya mengandung oksigen dan udara dengan ukurannya yang kecil, mengakibatkan gelembung tersebut dapat bertahan dengan periode yang lebih lama di dalam air. Sehingga proses difusi udara kedalam cairan terjadi lebih baik.

*Micro Bubble* dapat dihasilkan dengan beberapa cara yang berbeda dan karakteristik yang berbeda pula. Dalam proses *water treatment* untuk merubah air kotor menjadi air bersih, *Micro bubble* memiliki tegangan permukaan yang jauh lebih tinggi

dari air normal, maka *micro bubble* memudahkan untuk mengikat partikel-partikel asing yang terdapat dalam air dan membawanya ke lapisan atas fluida.

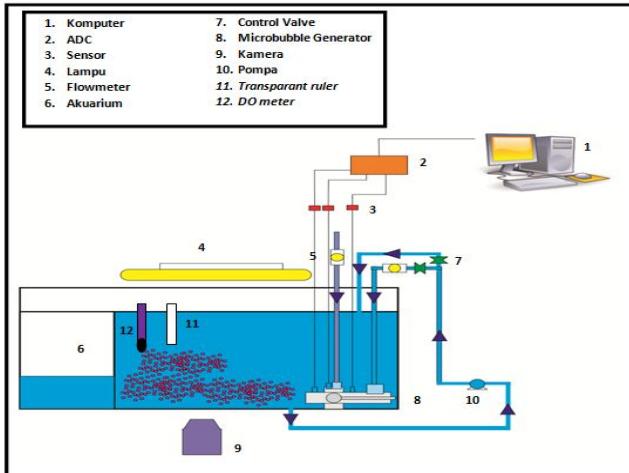
Alat untuk menghasilkan *micro bubble* dinamakan *micro bubble generator*, dan pada awalnya telah dikembangkan dalam bentuk kajian dasar dinamika fluida oleh Ohnari [2001], Serizawa dkk [2001] dan Minagawa dkk. [2001] dan mulai diterapkan pada berbagai kondisi praktis. Dalam hal ini, udara secara otomatis akan terhisap karena tekanan vakum yang dihasilkan di dalam generator. Udara yang terhisap akan dirubah menjadi sejumlah gelembung berukuran kecil oleh *shear flow* dari air yang berada dalam *generator*.

*Micro bubbles generator* yang kami gunakan menggunakan teknologi sederhana yaitu *spherical body* pada *flowing water tube* dikembangkan oleh Sadatomi dkk (2005). Pada generator ini, air bertekanan dimasukkan ke dalam pipa yang di dalamnya terdapat bola pejal.

Dari teori konservasi massa dan energi, kecepatan air di sekitar bola menjadi lebih tinggi dari kecepatan masuk dan tekanannya menjadi lebih rendah daripada tekanan sisi masuk. Tekanan negatif ini akan menghisap udara luar masuk ke dalam aliran fluida melalui beberapa lubang kecil dari dinding pipa di area tekanan rendah (dibagian tengah bola di *downstream*). Karena aliran yang terjadi di *downstream* adalah turbulen dan aliran geser, maka udara yang terhisap akan secara otomatis terpecah menjadi kecil (*micro-bubbles*) dengan jumlah yang cukup banyak.

## 2. Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Rangkaian alat penelitian *Micro Bubble Generator* dibuat sebagai *waterloop* (siklus tertutup) dan menggunakan pompa sebagai penggerak fluida. Pengamatan pembentukan *micro bubble* yang terjadi di daerah *down stream* pada *test section* dilakukan pada bagian bak kaca  $100 \times 50 \times 60$  cm.



Gambar 1. Rangkaian alat penelitian

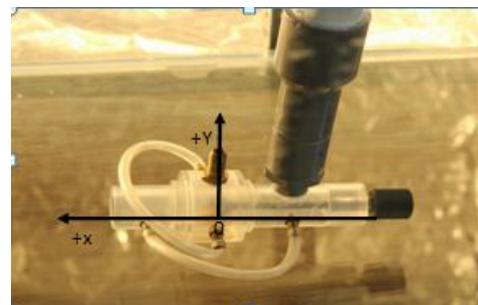
*Micro bubble generator* di tempatkan pada kedalaman 40 cm dari permukaan air pada bak kaca. Tiga *pressure transducer* yang berbeda dihubungkan pada *micro bubble generator* untuk menganalisa tekanan air yang masuk  $P_L$ , tekanan udara yang masuk  $P_G$ , dan tekanan air yang keluar dari *micro bubble generator*. Signal keluar dari sensor dikirimkan ke komputer (1) dengan sebuah *A/D converter* (2) sehingga didapatkan data. Air disuplai dari pompa sentrifugal (10) dari  $Q_L=1 \text{ m}^3/\text{s}$  sampai  $Q_L=2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Debit udara masuk  $Q_G$ , debit air masuk  $Q_L$ , diukur dengan flowmeter yang sudah dikalibrasi

dan diatur menggunakan *control valve*.

Untuk mengukur diameter *bubble*, digunakan sebuah penggaris transparan dan DSLR kamera Canon EOS D550 dengan lensa tambahan EF 100 f/2.8 macro, untuk mengambil gambar *micro bubble*. Gambar 1 dan tabel 1 menjelaskan spesifikasi *micro bubble* yang diuji coba. Lubang masuk udara berjumlah 6, diameter bola pejal  $d=16 \text{ mm}$ , diameter pipa dalam  $D=18 \text{ mm}$ , diameter ruang masuk udara 40 mm, diameter lubang masuk udara 0.75mm

No	Posisi	Posisi Bola Pejal
1	0	$X=0$
2	-2	$X= -2 \text{ mm}$
3	-4	$X= -4 \text{ mm}$
4	+2	$X= +2 \text{ mm}$

Tabel 1. Spesifikasi *Micro bubble* yang diuji

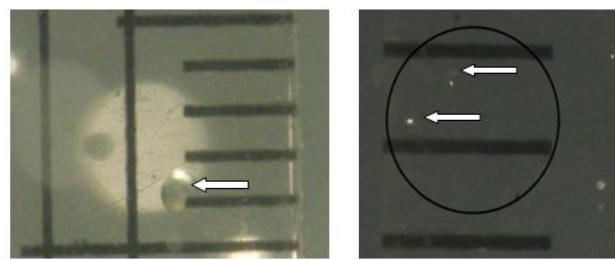


Gambar 2. Posisi *Micro bubble generator*

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Pengaruh Posisi Aksial Bola Pejal

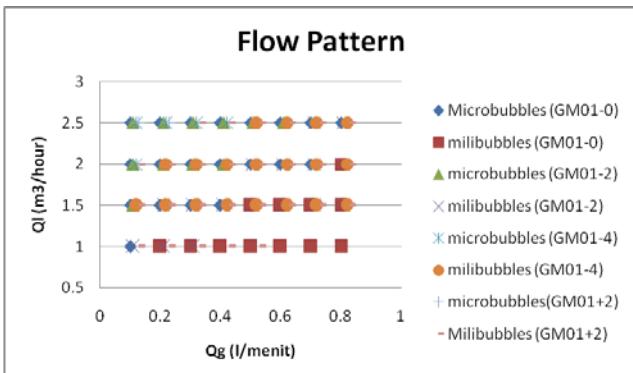
Pada penelitian ini, analisis kondisi *bubble* yang dihasilkan dibedakan menjadi 4 variasi berdasarkan posisi aksial dari bola pejal pada *micro bubble generator* yang dianalisa. Klasifikasi tipe *bubble* mengacu pada definisi Sadatomi (2005) yaitu *micro bubble* dengan diameter kurang dari 200  $\mu\text{m}$ .



a) Milibubbles  
b) microbubbles

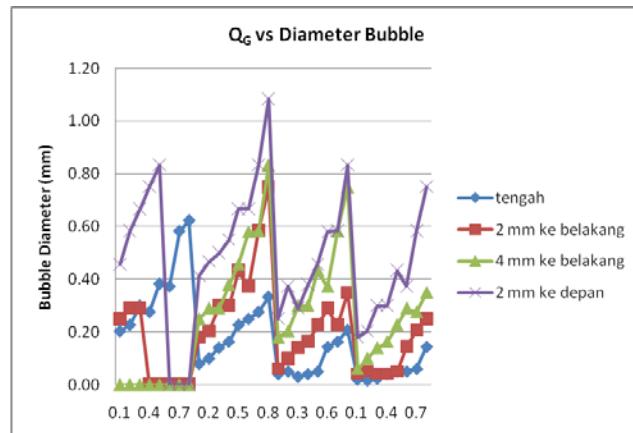
Gambar 3. Klasifikasi ukuran bubble

*Bubble* diukur menggunakan kamera CANON EOS 550 D dengan *shutter speed* 1/4000 dan ISO 3200. *Bubble* yang diukur adalah *bubble* yang melewati penggaris transparan pada arah aliran keluar dari *micro bubble generator*. Pengambilan gambar pada setiap kondisinya dilakukan sebanyak 3 kali. Diameter dari 4 gambar tersebut dapat diketahui kondisinya seperti pada grafik  $Q_L$  vs  $Q_G$

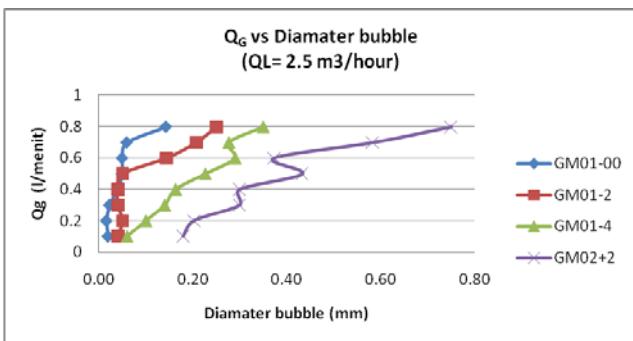


Gambar 4. Pola aliran pada berbagai posisi aksial bola pejal

Dari grafik diatas terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan gas yang masuk kedalam *micro bubble generator* pada kecepatan air yang sama, maka akan semakin besar gelembung yang terjadi. Hal ini dikarenakan adanya penurunan tekanan vacuum pada *air suction room*. Selain itu, terlihat bahwa pada posisi  $x=0$  luas daerah gelembung berukuran *micro* lebih luas jika di bandingkan dengan posisi bola pada titik yang lain. Hal ini di karenakan besarnya *pressure drop* yang terjadi pada daerah tersebut. *Pressure drop* disebabkan karena celah yang terbentuk antara bola pejal dengan dinding pipa, sehingga di dapat posisi optimal untuk menghasilkan *micro bubble* adalah pada posisi  $x=0$ .



Gambar 5. Perbandingan diameter *bubble* terhadap laju udara pada keseluruhan debit air yang diujicoba



Gambar 6. Perbandingan posisi bola terhadap laju udara dan diameter bubble.

Dari grafik hasil penelitian di atas, terlihat bahwa semakin bertambahnya jarak bola pejal dari posisi aksial *suction hole*, maka semakin kecil *range* untuk dapat menghasilkan *micro bubble*. Hal ini dikarenakan menurunnya angka *pressure drop* pada *micro bubble generator* yang disebabkan oleh menurunnya angka *vacuum pressure* pada *air suction room*. Sedangkan *micro bubble generator* yang sedang di investigasi adalah *micro bubble generator* tipe *cavitation* yang memanfaatkan besarnya *pressure drop* yang ada, sehingga jika *pressure drop* yang di inginkan belum tercapai akan sulit sekali terbentuk *micro-bubble*.



Gambar 7. Intensitas bubble saat posisi aksial bola dimajukan 2 mm



Gambar 8. Intensitas bubble saat posisi aksial bola tepat berada di tengah



Gambar 9. Intensitas bubble saat posisi aksial bola dimundurkan 2 mm

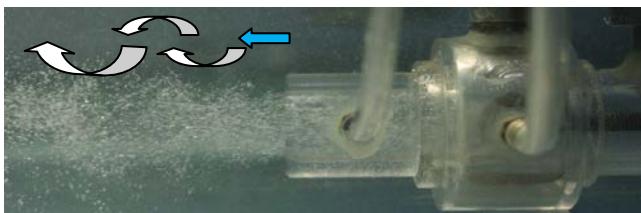


Gambar 10. Intensitas bubble saat posisi aksial bola dimundurkan 4 mm

Dari hasil pengamatan visual di temukan bahwa semakin jauh jarak bola dari *suction holes* maka semakin sedikit *bubble generation intensity* yang dihasilkan oleh *micro bubble generator*. Hal ini terkait dengan penurunan angka *pressure drop* pada *micro bubble generator*.

### 3.2. Visualisasi Aliran

Pengamatan pola karakteristik aliran *micro bubble* yang terjadi pada penelitian ini dilakukan pada saat kondisi fluida keluar dari *micro bubble generator*. Pengamatan visualisasi aliran *micro bubble* yang keluar ini hanya di batasi pada  $Q_L$  1  $\text{m}^3/\text{hour}$ , 2  $\text{m}^3/\text{hour}$ , dan 2,5  $\text{m}^3/\text{hour}$  pada  $Q_g$  0,1 - 0,2. Pembatasan masalah didasarkan pada studi eksperimen bahwa pada saat kombinasi  $Q_L$  dan  $Q_g$  yang seperti itu di dapatkan aliran *micro bubble generator*.



Gambar 11. Aliran *Rotational Flow* Pada Posisi Bola di tengah

Dari hasil pengamatan visual diketahui bahwa jenis aliran yang terjadi di dalam *micro bubble generator* adalah jenis aliran *rotational flow*, yang terjadi sebagai akibat dari aliran air bertekanan yang di alirkan secara tegak lurus sumbu aksial *micro bubble generator* (Ohnari, 2001), sehingga aliran fluida akan bergerak memutar melewati dinding *micro bubble generator* secara spiral menuju outlet dari *micro bubble generator*.

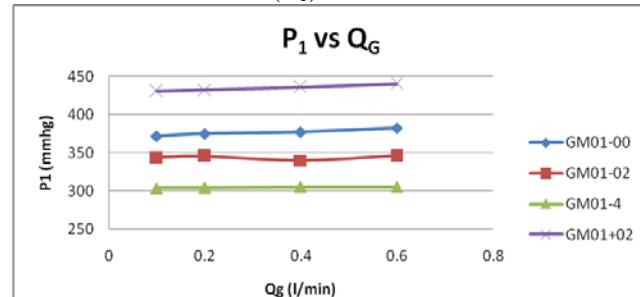
### 3.3. Pengaruh Parameter Fundamental

Untuk mengetahui kinerja dari sebuah *micro bubble generator* kami berfokus pada dua hal fundamental yang paling utama yaitu *pressure* dan *Hydraulic power*, *pressure* sangat penting karena

*micro bubble generator spherical ball* yang kita teliti merupakan *micro bubble generator cavitation type* yang memanfaatkan besarnya *pressure drop* yang terjadi di dalam *micro bubble generator*.

Angka tekanan yang digunakan merupakan angka tekanan rata-rata yang kami ambil selama 10 detik, dengan jumlah sampling 130 sample perdetik menggunakan sensor tekanan MPX DP 5100 untuk *initial pressure* dan sensor SMC pressure untuk tekanan *vacuum*. Sedangkan *Hydraulic power* kaitannya dengan daya yang diperlukan untuk menghasilkan *bubble*, tentunya semakin kecil *hydraulic power* yang terjadi semakin bagus *bubble generator*.

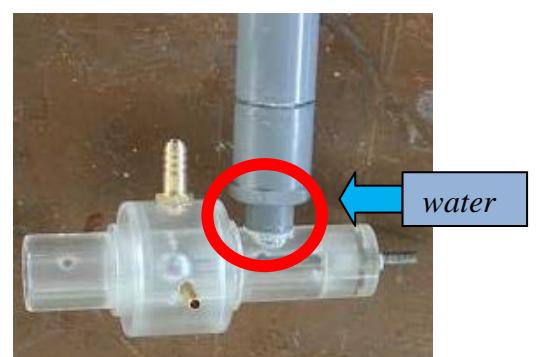
#### 3.3.1 Intitial Pressure ( $P_1$ )



Gambar 12. Grafik  $P_1$  vs  $Q_g$  pada posisi bola pejal yang berbeda.

Dari grafik di atas dapat kita lihat bahwa semakin jauh jarak bola dari titik *water inlet* maka semakin besar nilai  $P_1$  yang terjadi. Hal ini terjadi karena air betekanan yang masuk ke pipa semakin stabil tekanannya, dikarenakan sebelum memasuki *micro bubble generator* air terlebih dahulu mengalami penyempitan di saluran *inlet water* yang mana besar diameter *water inlet* lebih kecil jika di bandingkan dengan diameter dalam pipa.

Kondisi ini menyebabkan terjadi penurunan tekanan pada saluran *inlet* yang mana kemudian angka tekanan ini mencapai angka stabil di dalam pipa seui dengan hukum konservasi massa yang ada, tentunya dapat kita simpulkan bahwa semakin jauh jarak dari *water inlet* maka semakin maksimal angka tekanan yang di dapat.

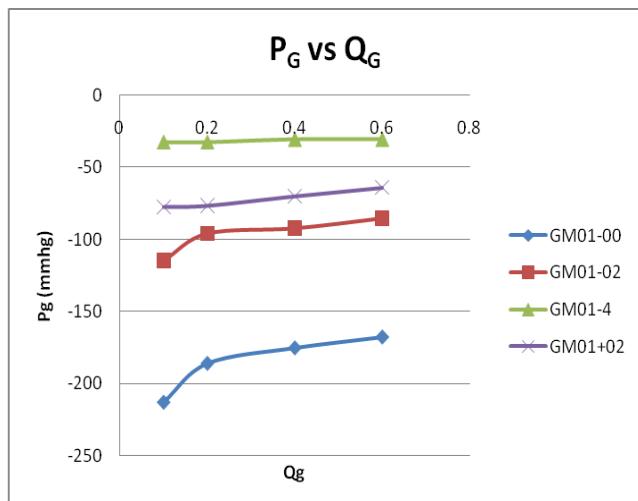


Gambar 13. *water inlet*

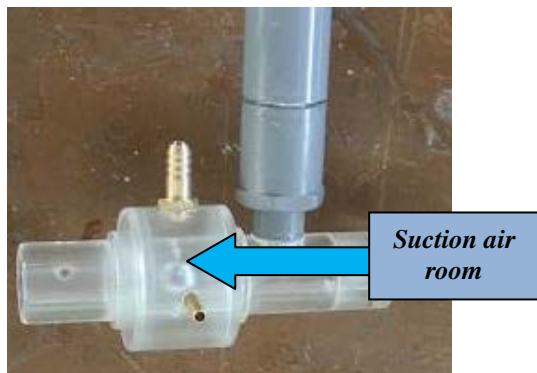
Selain itu kita lihat bahwa efek yang di timbulkan dari nilai  $Q_G$  yang berasal dari udara yang terhisap masuk kedalam *micro bubble generator* sangat kecil, sehingga efek air *suction holes* dapat kita abaikan karena walaupun terjadi kenaikan nilainya sangatlah kecil.

### 3.3.2 Vacuum Pressure ( $P_G$ )

*Vacuum pressure* yang dimaksud disini adalah tekanan vacuum yang diukur menggunakan sensor SMC *pressure*, yang diletakan pada *Suction Air room*. *Suction air room* merupakan ruangan vakum yang berfungsi sebagai tempat untuk masuknya udara terhisap kedalam *micro bubble generator*



Gambar 14. Grafik  $P_G$  vs  $Q_g$  pada posisi bola pejal yang berbeda



Gambar 15. *Suction air room*

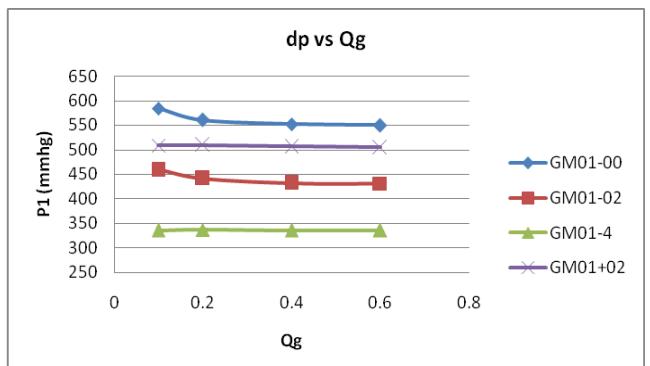
Dari grafik terlihat bahwa semakin dekat posisi aksial bola pejal dengan *air suction holes*, maka semakin kecil angka  $P_G$  yang di dapat. Selain itu, karena *micro bubble generator* yang digunakan adalah *micro bubble generator* yang memanfaatkan tekanan vacuum maka semakin baik performa yang didapat, hal ini dapat kita lihat pada gambar 6 dimana

pada posisi  $x=0$  ukuran diameter bubble yang di peroleh semakin kecil.

Selain itu dari grafik diatas dapat kita simpulkan bahwa semakin banyak aliran udara yang masuk maka tekanan vacuum di dalam *suction air room* semakin besar.

### 3.3.3 Differential Pressure ( $P_1 - P_G$ )

*Differensial Pressure* yang dimaksud disini adalah besarnya beda tekanan yang terjadi antara nilai tekanan di *initial pressure* dengan nilai tekanan pada *suction air room*.



Gambar 16. Grafik DP vs  $Q_g$  pada posisi bola pejal yang berbeda

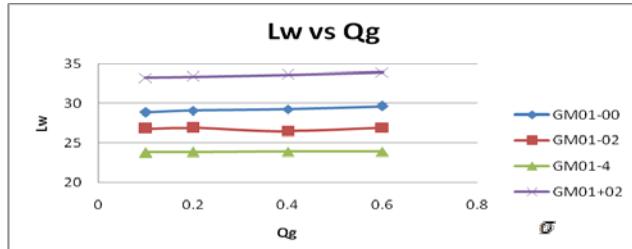
Dapat kita lihat pada grafik diatas bahwa nilai terbesar angka *Differential pressure* (DP) terletak pada *micro bubble generator* yang memiliki jarak terdekat antara bola pejal dengan *air suction room*. Meskipun pada gambar 12 dikatakan bahwa jarak terjauh ( $x + 2\text{mm}$ ) merupakan jarak terbesar untuk nilai *initial pressure*, namun pada grafik selanjutnya yaitu gambar 14 terlihat bahwa nilai vakum terkecil adalah pada posisi jarak terdekat dengan *air suction holes* ( $x=0$ ), dan ternyata besarnya perbedaan nilai vacuum pressure membuat angka DP pada  $x=0$  mencapai nilai tertinggi, hal ini dapat di simpulkan bahwa angka optimum posisi aksial bola terhadap *air suction holes* terdapat pada  $x=0$ .

### 3.3.4 Hydraulic Power

*Hydraulic power* menunjukkan daya *hydraulic* yang digunakan pada suatu *micro bubble generator* untuk bekerja. Perbandingan *Hydraulic power* pada tiap posisi bola pejal dapat di lihat pada gambar 17

Seperti hal yang telah kita singgung sebelumnya bahwa *hydraulic power* merupakan penjumlahan antara *initial Pressure* dan Kecepatan rata-rata fluida pada inlet generator. Dari hubungan antara *Initial pressure* yang telah kita bahas sebelumnya pada gambar 12 terlihat bahwa semakin jauh jarak bola dari water inlet maka semakin besar *Initial pressure* yang terjadi, dan arena *Hydraulic power* merupakan penjumlahan dari Kecepatan

rata-rata fluida pada inlet generator maka terlihat bahwa angka terbesar dari nilai  $L_w$  terdapat pada posisi  $x=+2$  dengan air suction holes sebagai acuanya.



Gambar 17. Grafik  $L_w$  Vs  $Q_g$  pada posisi bola pejal yang berbeda

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil dan pembahasan pada penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Laju aliran air untuk menghasilkan *micro bubble* dengan diameter terkecil dan intensitas terbaik berada pada nilai  $2,5 \text{ m}^3/\text{jam}$
- Laju aliran gas untuk menghasilkan *micro bubble* dengan diameter terkecil dan intensitas terbaik berada pada nilai  $0,1 \text{ NL/min}$
- Dari hasil penelitian di dapat bahwa posisi aksial bola pejal yang paling optimal adalah pada  $x = 0 \text{ mm}$  terhadap *air suction holes*
- Sphere ball* pada jarak  $x = +2$  dari *air suction holes*, merupakan posisi optimum untuk mendapatkan nilai *Initial pressure* yang optimal
- Semakin jauh jarak *sphere ball* dari *air suction holes*, maka semakin kecil nilai *pressure drop* yang di dapat dan juga semakin kecil nilai *vacuum pressure* pada *air suction room*
- Semakin jauh jarak bola dari *air suction holes* maka semakin sedikit *bubble generation intensity* yang di hasilkan oleh *Micro-bubble Generator*.

#### 5. Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Deendarlianto, S.T., M. Eng. yang telah membimbing penelitian ini. Anggita Gigih W. I. selaku rekan penelitian yang telah banyak membantu sehingga penelitian ini dapat selesai. Hibah Dikti MP3EI yang telah membiayai penelitian ini sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan.

#### 6. Nomenklatur

$L_w$	Hydrolic power
$\eta_B$	Bubble generation efficincency
$a$	Interfacial surface area
$\varepsilon_g$	Gas holdup
$u_b$	Terminal Velocity
$\rho$	Densitas liquid ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$g$	Gravitasi bumi
$\mu$	Nilai viskositas liquid (Pa.s)
$\Delta p$	Perbedaan tekanan
$\sigma$	Tegangan permukaan ( N/m )
$\zeta$	Koefisien rugi tekanan
$A_H$	Luas total area
$Q_L$	Laju aliran air
$Q_G$	Laju aliran gas

#### 7. Referensi

- [1] M. Sadatomi et al., Performance of new micro-bubble generator with a spherical body in a flowing water tube, *Experimental thermal and fluid science*, Elsevier, 2005.
- [2] Akimaro Kawahara et al., Prediction of micro-bubble dissolution characteristics in water and seawater, *Experimental thermal and fluid science*, Elsevier, 2009.
- [3] M. Sadatomi et al., Performance of a new micro-bubble generator with a spherical body in a flowing water tube, 4th Japanese-European Two-Phase Flow Group Meeting Kanbaikan, Kyoto 24 - 28 September 2006
- [4] H. Ohnari, Fisheries experiments of cultivated shells using microbubbles technique, *Journal of the Heat Transfer Society of Japan* 40 (160) (2001) 2–7 (in Japanese).
- [5] A. Serizawa et al., Micro-bubble nozzles and their operation, in: *Proceedings of JSMF Annual Meeting 2001*, Japan Society for Multiphase Flow, Osaka, Japan, July 2001, pp. 139–140 (in Japanese).
- [6] H. Minagawa et al., Study on micro bubble generation mechanism by sudden enlargement of flow area, in: *Proceedings of JSMF Annual Meeting 2001*, Japan Society for Multiphase Flow, Osaka, Japan, July 2001, pp. 127–128 (in Japanese).
- [7] M. Sadatomi, Microbubble producing apparatus, Japanese Patent, JP.2003-30549.A, Date of publication: 28 October 2003.