

PENGEMBANGAN GENERATOR GELEMBUNG MIKRO JENIS TABUNG VENTURI

Warjito dan Nursanty Elizabeth
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

Penelitian karakteristik generator gelembung mikro (*microbubble generator*) jenis tabung venturi telah dilakukan dengan tujuan untuk mempelajari pengaruh parameter geometri dan aliran terhadap karakter gelembung yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan *water loop system* yang terdiri dari kolam pengamatan, pompa, flow meter, valve, dan test section. Test section berupa generator gelembung mikro jenis tabung venturi, dengan berbagai variasi bentuk geometri dan ukuran serta dilakukan pada berbagai variasi debit air dan debit udara. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa generator gelembung mikro jenis tabung venturi yang dirancang mampu menghasilkan gelembung mikro (*microbubble*). Parameter-parameter yang diujikan secara signifikan memberi pengaruh terhadap jumlah dan ukuran gelembung mikro. Semakin besar debit udara, semakin banyak jumlah gelembung yang dihasilkan namun ukuran gelembung semakin besar. Debit air yang meningkat menghasilkan jumlah gelembung yang semakin banyak dengan ukuran yang lebih kecil. Pengaruh geometri pada pembentukan gelembung mikro cukup signifikan. Semakin kecil perbandingan antara diameter leher venturi dengan diameter pipa, semakin banyak gelembung mikro yang dihasilkan. Demikian juga dengan sudut divergen, semakin besar sudut tersebut semakin banyak jumlah gelembung mikro yang dihasilkan. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa generator gelembung mikro jenis venturi yang diuji mampu menghasilkan gelembung mikro. Populasi dan ukuran gelembung sensitif terhadap bilangan Reynolds, rasio aliran udara dan air serta geometri dari generator.

Kata Kunci : gelembung mikro, tabung venturi, geometri, debit.

1. Pendahuluan

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. Berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi, diantaranya adalah dengan mengurangi hambatan (*drag reduction*) pada alat transportasi. Salah satu teknologi yang sedang dikembangkan saat ini untuk memenuhi upaya tersebut adalah penggunaan gelembung mikro pada *drag reduction*. Hasil penelitian mengenai *drag reduction* pada kapal dengan menggunakan gelembung mikro menunjukkan hasil yang sangat menjanjikan.

Kapal merupakan alat transportasi penting di negara kepulauan seperti Indonesia. Namun demikian kapal membawa masalah yang khas dimiliki oleh alat transportasi yang menggunakan bahan bakar fosil yaitu gas emisi yang dapat menyebabkan pemanasan global. Karena itu, harus dilakukan upaya-upaya untuk mengurangi hal tersebut dan salah satu caranya adalah mengurangi konsumsi bahan bakar, dengan mengurangi

hambatan gesek melalui aplikasi gelembung mikro. Gelembung mikro mengurangi gesekan pada kulit terluar kapal yang bergerak di dalam air dengan cara menginjeksi gelembung-gelembung kecil ke dalam lapisan pembatas yang bersifat turbulen [1]. Peneliti yang pertama kali melakukan penelitian ini adalah McCormick dan Bhattacharyya pada tahun 1973 dengan menggunakan elektrolisis kawat tembaga untuk menghasilkan gelembung mikro [2]. Yashiki Kodama dan kawan-kawan melakukan penelitian dengan *flat plate ship* di *towing tank*, dan menunjukkan bahwa gelembung mikro mengurangi *drag* sebesar 23 % pada kecepatan 7 m/sec [3]. Selanjutnya Steven.L. Ceccio dan kawan-kawan pada tahun 2006 berhasil membandingkan hasil yang diperoleh oleh Ferrante dan Elghobashi serta Xu dengan menggunakan gelembung mikro dapat mencapai pengurangan *drag* sebesar 80% dan menyimpulkan bahwa gelembung mikro yang berukuran kecil sangat efektif [4].

Gelembung mikro adalah gelembung udara di dalam air dengan diameter kurang dari 200 μm . Gelembung mikro juga didefinisikan sebagai gelembung yang ukurannya lebih kecil atau sama dengan ukuran eddies terkecil pada aliran turbulen (tidak



berdimensi) agar lebih efektif memanipulasi boundary layer [5]. Ukuran gelembung mikro memiliki peranan penting jika dikaitkan dengan kegunaannya[4].

Selain aplikasi pada *frictional drag reduction* pada kapal, gelembung mikro juga digunakan pada Teknik flotasi (*Microbubble floatation technique*) yaitu pemisahan material dan air, proses penghilangan mikroorganisme faktor pembusukan pada kerang dan tiram, teknologi radiologi dan kardiologi di bidang kedokteran, serta sebagai pembersih badan [6].

Ukuran gelembung memegang peranan penting, sehingga kontrol ukuran dan jumlah gelembung mikro pada proses pembuatan gelembung menjadi sangat krusial. Terdapat empat jenis generator gelembung mikro dengan cara kerja yang berbeda, yaitu generator gelembung mikro elektrolisis (*electrolytic microbubble generator*), material porus (*porous plate*), bola dalam tabung (*spherical body in a flowing water tube*), dan venturi (*venturi tube type microbubble generator*) [6]. Martriadhi Laksana dengan menggunakan generator gelembung mikro jebis bola, telah berhasil memproduksi gelembung mikro dengan ukuran dibawah $50\ \mu\text{m}$ [6]. Hendro pada tahun yang sama meneliti pembuatan gelembung mikro menggunakan tabung venturi, dan dapat menghasilkan gelembung mikrodengan ukuran dibawah $50\ \mu\text{m}$ [7]. *Venturi tube type Microbubble generator* menggunakan prinsip kerja pipa venturi. Perbedaan luas penampang menimbulkan perbedaan kecepatan dan tekanan sepanjang venturi. Perubahan tekanan, kecepatan dan turbulensi akan menyebabkan gelembung pecah sehingga berukuran mikro.

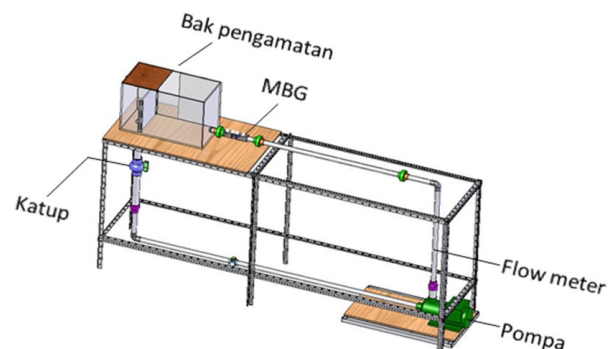
Penelitian-penelitian sebelumnya telah memberikan berbagai informasi penting mengenai aplikasi gelembung mikro dan metode-metode untuk memproduksi gelembung mikro, akan tetapi masih terdapat beberapa hal yang mempunyai arti phisik penting yang belum tercerahkan. Salah satu dari hal tersebut adalah pemahaman yang lebih baik pada karakteristik generator gelembung mikro. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik generator gelembung mikro terutama yang berkaitan dengan pengaruh parameter geometri dan dinamika fluida pada proses produksi gelembung mikro.

Penelitian ini merupakan studi tentang pengaruh parameter geometri pada karakteristik *venturi tube microbubble generator*. Parameter geometri yang dimaksud adalah sudut divergence dan perbandingan antara diameter leher dan diameter inlet. Hal ini penting karena ditengarai parameter geometri dan dinamika fluida tersebut mempunyai peran penting dalam pengendalian ukuran dan jumlah gelembung.

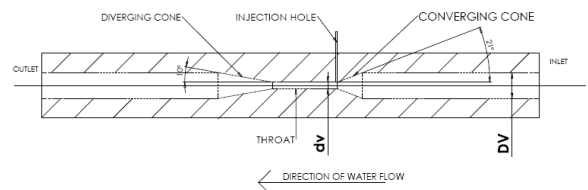
2. Experimental Setup

Penelitian ini menggunakan water loop sistem terbuka yang terdiri dari kolam pengamatan, pompa, flow meter, valve, dan test section. Perhatikan gambar 1,

air dari bak pengamatan akan mengalir melalui pipa menuju pompa. Dengan mengatur bukaan katup pada pipa tersebut, debit aliran menuju test section dapat dikendalikan. Debit air dan udara diukur dengan menggunakan rotameter. Penelitian ini menggunakan generator gelebung mikro (*micro bubble generator*, MBG) jenis venturi sebagai *test section*. Untuk mempelajari pengaruh parameter geometri pada karakteristik gelembung yang dihasilkan, untuk setiap jenis generator gelembung mikro diujikan beberapa test section dengan berbagai variasi bentuk geometri dan ukuran dan dilakukan pada berbagai variasi debit air dan debit udara. Ukuran yang divariasikan adalah diameter leher venturi dan sudut bagian divergen pada venturi.

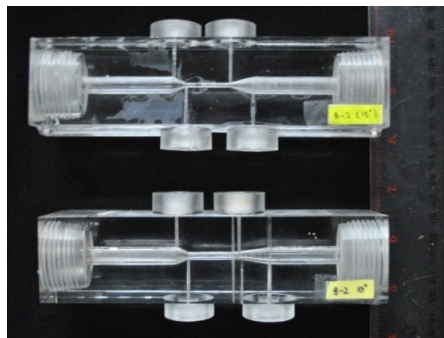


Gambar 1 Sistem pemipaan water loop

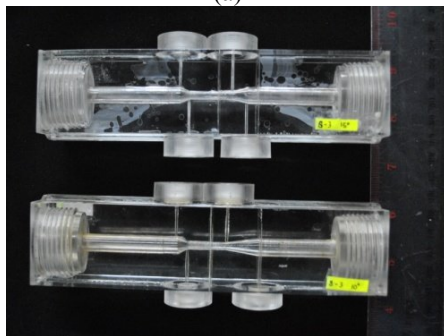


Gambar 2 Gambar teknik generator gelembung mikro venturi .

Gambar 2 menunjukkan gambar teknik generator gelembung mikro. Diameter luar (D_v) venturi dibuat konstan, yaitu 8 mm. Diameter dalam dari venturi (d_v) divariasikan, yaitu 2mm, 3mm dan 4 mm, sehingga perbandingan d_v/D_v menjadi 0.25, 0.375 dan 0.5. Venturi memiliki sudut *converging cone* dan *diverging cone*. Dalam penelitian ini *converging cone* dibuat konstan 20° dan *diverging cone* dibuat variasi 10° dan 15° . Setiap variasi geometri venturi tersebut masing-masing akan diuji dengan menggunakan debit air 7 l/mnt, 8 l/mnt, 9 l/mnt, dan 10 l/mnt. Untuk setiap debit air diberikan variasi debit udara 0.1 l/mnt, 0.2l/mnt, 0,3 l/mnt, sehingga *void number* bervariasi. Lubang untuk menginjeksikan udara terletak pada awal leher venturi. Gambar 3 adalah contoh photo beberapa venturi.



(a)



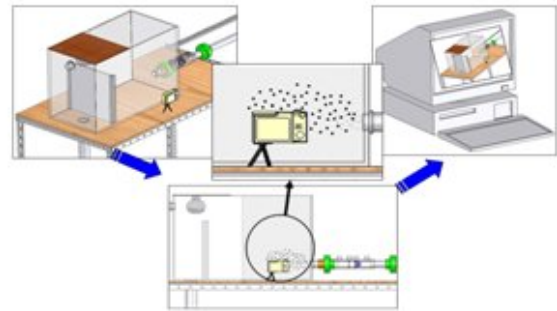
(b)

Gambar 3 Generator gelembung mikro venturi, (a) $D_v = 8 \text{ mm}$, $d_v = 2 \text{ mm}$ dan (b) $D_v = 8 \text{ mm}$, $d_v = 3 \text{ mm}$

Data gelembung: ukuran dan jumlah, diperoleh dengan menggunakan kamera dan *image processing*. Kamera yang digunakan adalah kamera Nikon D 3000 dengan kemampuan maksimum 10 MP dan dilengkapi lensa mikro. Gambar-gambar yang diperoleh kemudian diproses dengan software pemroses image (Image J). Hasil dari proses image ini adalah jumlah dan ukuran gelembung. Pengambilan gambar dilakukan dengan sistem penerangan *back lighting*. Dengan sistem ini, gambar gelembung yang ditangkap oleh kamera menyerupai siluet tanpa ada “pendar” sehingga mudah diproses dan memperbaiki ketelitian. Gambar 4 menunjukkan skematik *setup* kamera yang digunakan untuk mengambil gambar gelembung pada kolam pengamatan.

3. Hasil dan Pembahasan

Bagian berikut akan memuat hasil dan juga pembahasan hasil penelitian. Penelitian dilakukan dengan laju aliran air 7 l/m, 8 l/m, 9 l/m, dan 10 l/m, bersesuaian dengan bilangan Reynolds, Re terhadap d_v diantara 10 000 – 30 000. Void fraction berkisar antara 1 – 4 %.



Gambar 4. Skematik *setup* kamera

Tekanan pada Tabung Venturi

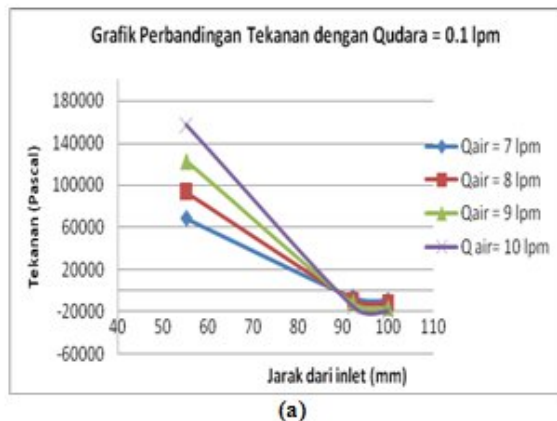
Hasil pengukuran tekanan statik sepanjang dinding venturi dengan menggunakan manometer dan *pressure gauge* menghasilkan data tekanan seperti yang telah dipahami saat ini. Tipikal distribusi dan jatuh tekanan terlihat pada gambar 5 a dan b, tekanan akan turun secara drastis saat aliran masuk bagian konvergen, kemudian akan kembali naik saat melewati bagian divergen. Namun tekanan tidak dapat kembali ke tekanan di titik masuk karena ada kerugian gesek sehingga terjadi jatuh tekanan. Profil tekanan sepanjang venturi sensitif terhadap laju aliran dan juga perbandingan d_v terhadap D_v . Semakin besar laju aliran air, semakin besar jatuh tekanan. Semakin kecil rasio d_v/D_v , akan menyebabkan hal yang sama. Pada penelitian ini, pengaruh injeksi udara pada jatuh tekanan kurang signifikan. Hal ini mungkin dikarenakan jumlah udara injeksi sangat kecil; *void fraction* antara 1 – 4 %.

Visualisasi

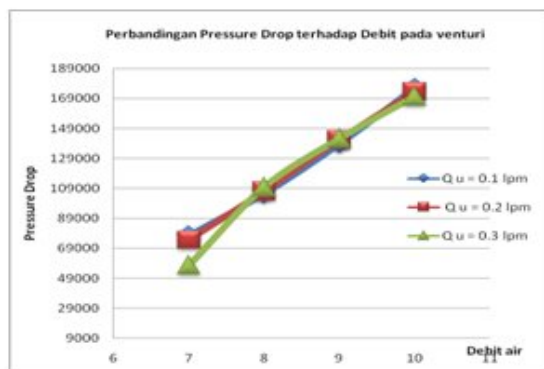
Gambar 6 a, b dan c merupakan foto tipikal gelembung yang dihasilkan generator gelembung mikro venturi dengan $d_v = 2 \text{ mm}$ dan $\alpha_d = 10^\circ$. Foto-foto ini memvisualisasikan pengaruh laju aliran air dan udara. Semakin besar laju aliran air, menghasilkan semakin banyak gelembung mikro, dan semakin besar laju aliran udara, menyebabkan jumlah gelembung yang berukuran besar semakin banyak.

Image Processing

Selanjutnya melalui *image processing*, didapat data diameter dan jumlah bubble pada setiap kondisi penelitian. Data jumlah dan ukuran gelembung merupakan hasil *image processing* tiga puluh foto untuk setiap kondisi penelitian. Ukuran gelembung dikelompokkan menjadi dua puluh tiga kelas dan nilai tengah setiap kelas tercantum pada grafik. Agar grafik terlihat lebih jelas, maka kelas yang ditampilkan hanya sampai dengan kelas dua belas.

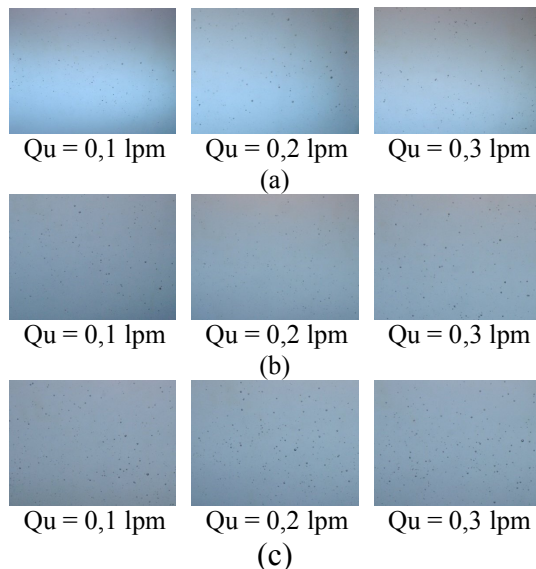


(a)



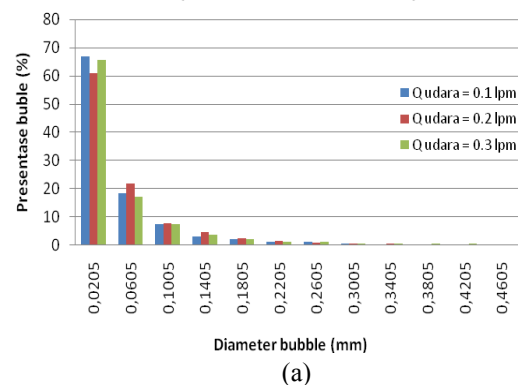
(b)

Gambar 5 a) Tekanan pada venturi dengan $d_v = 2$ mm dan $\alpha_d = 10^\circ$, $Q_{udara} = 0.1$ l/mnt. b) Jatuh tekanan vs debit air.

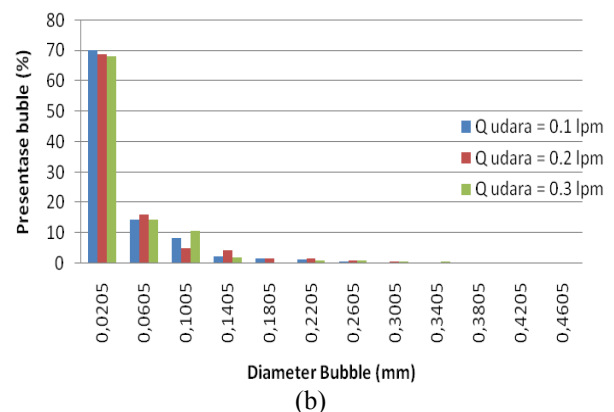


Gambar 6 Foto gelembung yang dihasilkan oleh generator gelembung mikro venturi dengan $d_v = 2$ mm, $\alpha_d = 10^\circ$; a) $Q_{air} = 8$ l/mnt, b) $Q_{air} = 9$ l/mnt, $Q_{air} = 10$ l/mnt.

Gambar 7 menunjukkan prosentase jumlah gelembung untuk setiap ukuran yang dihasilkan generator gelembung mikro venturi dengan $d_v = 2$ mm, $\alpha_d = 10^\circ$, laju aliran air $Q_{air} = 7$ l/mnt dan $Q_{air} = 9$ l/mnt. Gambar 8 menunjukkan hal yang sama untuk generator gelembung mikro venturi dengan $d_v = 3$ mm, $\alpha_d = 10^\circ$, laju aliran air $Q_{air} = 7$ l/mnt dan $Q_{air} = 9$ l/mnt. Dari gambar 7 dan 8, diperoleh fakta bahwa laju aliran air yang bersesuaian dengan bilangan Reynolds mempunyai pengaruh signifikan pada jumlah gelembung mikro. Semakin besar bilangan Re, jumlah gelembung berukuran kecil semakin banyak. Semakin besar debit air maka pressure drop semakin besar, turbulensi meningkat dan hal ini berdampak pada proses dispersi gelembung menjadi ukuran lebih kecil semakin meningkat. Hal ini sesuai dengan hasil kerja Kato et.al., yang menyatakan dengan meningkatnya kecepatan aliran maka diameter gelembung rata-rata semakin kecil [8]. Pengaruh laju aliran pada ukuran gelembung dapat juga dilihat pada gambar 9. Gambar ini menunjukkan jumlah gelembung mikro pada setiap kondisi percobaan dengan $d_v = 2$ mm, $\alpha_d = 10^\circ$, dan laju aliran air Q_{air} dan Q_{udara} yang bervariasi.



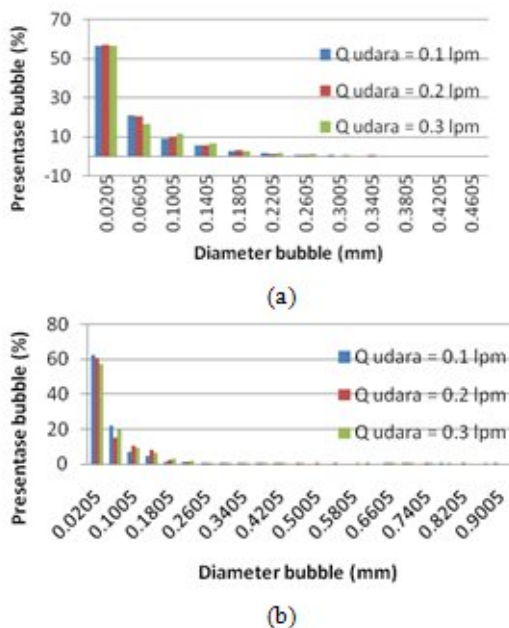
(a)



(b)

Gambar 7 Grafik presentase jumlah gelembung yang dihasilkan oleh generator gelembung mikro venturi dengan $d_v = 2$ mm, $\alpha_d = 10^\circ$. a) $Q_{air} = 7$ l/mnt. dan b) $Q_{air} = 9$ l/mnt

Pengaruh *void fraction* dapat dilihat pada gambar 7 dan 8 serta hasil-hasil percobaan yang lainnya. Hal yang sama juga terlihat pada gambar 9. Semakin besar *void fraction* pada laju aliran air tetap akan menyebabkan semakin banyak jumlah gelembung berukuran besar (bukan mikro) dan akibatnya semakin kecil prosentase gelembung mikro. Hasil ini sesuai dengan Baylar dan kawan-kawan yang menyimpulkan bahwa perbandingan Q_u/Q_a (*void fraction*) merupakan parameter penting [9].



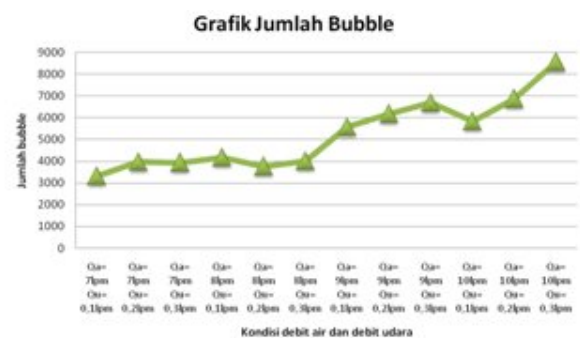
Gambar 8 Grafik presentase jumlah gelembung yang dihasilkan oleh generator gelembung mikro venturi dengan $d_v = 3$ mm, $\alpha_d = 10^\circ$. a) $Q_{air} = 7$ l/mnt. dan b) $Q_{air} = 9$ l/mnt.

Bila gelembung dikelompokkan menjadi 2 bagian besar yaitu gelembung mikro ($< 200 \mu m$) dan gelembung bukan mikro ($> 200 \mu m$) maka untuk setiap kondisi percobaan dapat dibuat grafik seperti yang tercantum pada gambar 10. Hasil ini menunjukkan, meskipun laju aliran air (juga Reynolds number) dan *void fraction* berpengaruh signifikan pada jumlah gelembung mikro, namun pengaruh kedua parameter tersebut pada distribusi atau prosentase gelembung mikro tidak terlihat.

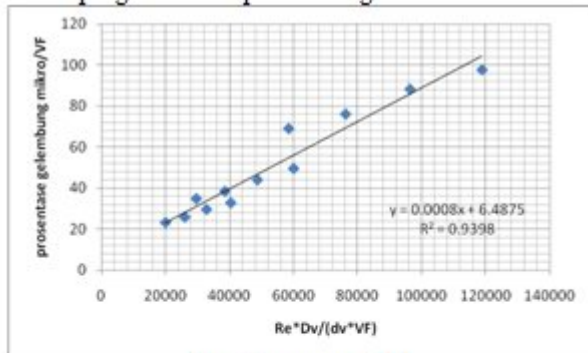
Hasil penelitian ini dan juga penelitian sebelumnya [8, 9], menunjukkan bahwa laju aliran air (Reynolds number), dv/D_v dan *void fraction* (VF) merupakan parameter penting dalam proses pembentukan gelembung mikro pada venturi. Namun demikian pengaruh parameter-parameter tersebut tidak begitu jelas. Diusulkan parameter tak berdimensi yang dibentuk dari Reynolds number, dv/D_v dan *void fraction*.

Parameter tak berdimensi ini diharapkan mampu menggambarkan karakteristik generator gelembung mikro jenis venturi. Parameter tak berdimensi tersebut adalah $(Re.D_v)/(d_v.VF)$. Hasil plot prosentase gelembung mikro terhadap $(Re.D_v)/(d_v.VF)$ ditunjukkan pada gambar 11.

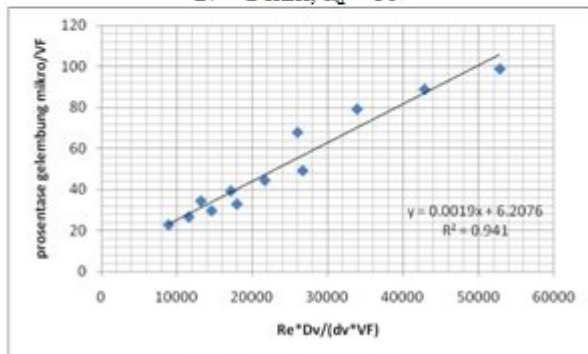
Grafik pada gambar 11 menunjukkan bahwa karakteristik generator gelembung mikro venturi dapat dinyatakan dengan bilangan tak berdimensi $(Re.D_v)/(d_v.VF)$. hubungan antara prosentase gelembung mikro dengan parameter tersebut adalah linear. Semakin besar $(Re.D_v)/(d_v.VF)$, semakin besar prosentase gelembung mikro yang dihasilkan.



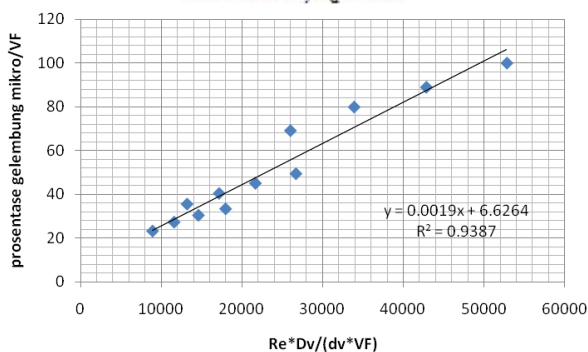
melalui program start up research grant IMHERE 2010.



$d_v = 2 \text{ mm}, \alpha_d = 10^\circ$



$d_v = 3 \text{ mm}, \alpha_d = 10^\circ$

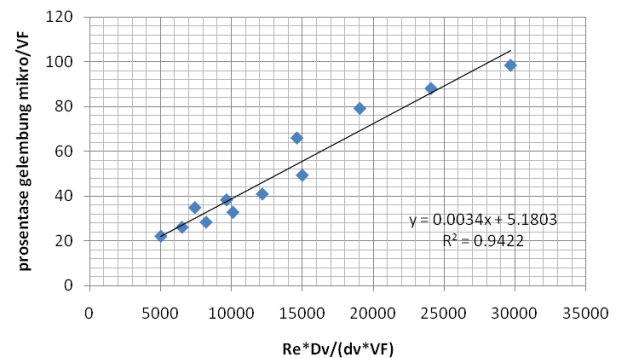


$d_v = 3 \text{ mm}, \alpha_d = 15^\circ$

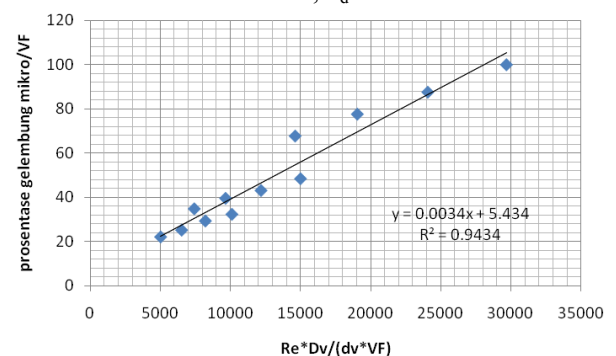
Gambar 11 Grafik $(Re \cdot D_v) / (d_v \cdot V_F)$ vs persentase gelembung mikro.

References

- [1] 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
- [2] McCormick, M.E. and Bhattacharyya, R. 1973. *Drag reduction of a Submersible Hull by Electrolysis*, Naval Engineers Journal, Vol.85, No.2, pp.11-16.
- [3] Kodama Y, Kakugawa A, Takahashi T, Nagaya S, Kawamura T. *Drag Reduction of Ship by Microbubbles*



$d_v = 4 \text{ mm}, \alpha_d = 10^\circ$



$d_v = 4 \text{ mm}, \alpha_d = 15^\circ$

Gambar 11 Grafik $(Re \cdot D_v) / (d_v \cdot V_F)$ vs persentase gelembung mikro (lanj.)

- [4] Shen Xiaochun, Ceccio Steven L. *Influence of bubble size on micro-bubble drag reduction*. Perlin Marc. 2006.
- [5] 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
- [6] Laksana, Matriadi. *Microbubble Generator dengan metode Spherical Ball dalam pipa beraliran*. Skripsi, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2008.
- [7] Warjito dan Hendro Sulisty, *Microbubble generator dengan metode tabung venturi*, Skripsi, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin SNTTM-8, Universitas Diponegoro Semarang, 2009.
- [8] Kato, Hiroharu, Moriguchi, Yusohiro. *Influence of Microbubble diameter and distribution on Frictional Resistance Reduction*. Toyo University, Japan. 2002.
- [9] 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

