

PENGARUH VOLUME ALIR UDARA TERHADAP POLA SEBARAN GELEMBUNG PADA *BUBBLE PLUME*

Prihanto Trihutomo
Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No.5 Malang
No.Telp: 0341-575330
E-mail : prihantohutomo@gmail.com

Abstract

Bubble plume is the effective way to generate bubbles by air injection from the bottom of bath. Bubble plumes is important for gas transfer process, turbulence generation, collecting the surface-floating substance, and also important to mixing effect in chemical process. This research aims to analyse effect of gas flowrate on bubble dispersion pattern in bubble plume. An experimental apparatus to investigating bubble dispersion consists of a transparent vertical bath is 500 mm length, 24 mm wide and 750 mm height. The bubble generator consists of 110 needles, each needle is 0.25 mm in diameter, installed at the bottom of bath. The experimental method was used in this research. Data were taken by high resolution digital camera. Bubble dispersion pattern was generated by air injection from the bottom of bath. The experiments was done at various gas flowrate that is $4.16 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{s}$, $6.67 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{s}$, $10.4 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{s}$, $18.83 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{s}$ dan $31.6 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{det}$. Data analyse using ImageJ software to get number, dimension and position of bubble. The experimental results show that increase of gas flowrate causes the number and the diameter of bubble increase and also to widen of diameter interval and bubble dispersion. In each of gas flowrate the bubble trend coalescence intermittently. The intermittent coalescence decrease with the increase of gas flowrate.

Keywords: : bubbles, gas flowrate, dispersion pattern

PENDAHULUAN

Gelembung memiliki peranan yang penting dalam banyak proses seperti pada geofisika [1] [2] [3], pada rekayasa kimia [4], biofarmasi [5], dan manajemen air limbah [6], dan banyak bidang lainnya. Dalam geofisika, *bubble plumes* dari pecahan ombak adalah dominan atau sangat penting untuk proses transfer gas antara udara dan air laut [7], pembentukan aerosol di lautan [8] [9] [10] [11], pengayaan lapisan mikro permukaan [12], dan pembangkitan turbulensi [13]. Masing-masing proses ini mempunyai potensi akibat yang penting pada skala regional dan global. Gelembung secara langsung atau tidak langsung meningkatkan pertukaran gas antara lautan dan atmosfer bumi yang penting untuk iklim global seperti metana, karbondioksida, dan fluorokarbon. Gelembung secara langsung menukar gas pada atmosfer dan lautan dengan cara difusi melalui penghubung gelembung di lautan. Secara tidak langsung gelembung berkontribusi terhadap pertukaran gas dengan cara mengganggu lapisan mikro permukaan

[14], dengan pembangkitan turbulensi gelembung timbul pada bagian atas lautan [13], dan untuk pelepasan gas ketika gelembung pecah pada permukaan [7].

Pembentukan *bubble plume* (sebagai contoh pecahan ombak) dapat menyebabkan pembangkitan turbulensi. Mekanisme pembentukan turbulensi mengubah profil kecepatan turbulen di dalam lapisan batas lautan, dengan demikian meningkatkan transfer gas [14]. *Bubble plumes* juga menyebabkan pergerakan fluida [15], meningkatkan pertukaran dan pencampuran gas.

Penelitian terdahulu yang telah dilakukan antara lain oleh Catherine Colin dan Dominique Legendre (2004), yang meneliti pengaruh dari gaya gravitasi (melalui kecepatan hanyut gelembung) dan turbulensi dari fase cairan terhadap distribusi radial dari gelembung pada aliran turbulen gelembung dalam pipa. Eksperimen dan simulasi numerik dilakukan dengan perbedaan kondisi gaya gravitasi (aliran vertikal keatas, aliran kebawah dan aliran gaya gravitasi mikro). Dari tiga arah aliran

gelembung tersebut, secara eksperimen ditentukan atau dihitung, distribusi ruang dan kecepatan dari gelembung dalam aliran. Hasil secara eksperimen dan numerik menunjukkan bahwa, di bumi, dibawah pengaruh gaya apung, gelembung-gelembung bergerak secara radial ke arah dinding pipa pada aliran vertikal keatas, kearah tengah pipa pada aliran kebawah. Pada gravitasi mikro, tidak ada kecepatan hanyut, maka gaya angkat menjadi lenyap.

M.N.H. Khan, Qinglin He, Geoffrey Evans, Anh Nguyen (2004) melakukan penelitian tentang penyebaran partikel padat *spherical* apung yang diinjeksikan melalui sebuah nosel yang terletak diatas bejana ke dalam suatu bejana silinder. Udara masuk dalam bentuk gelembung dan berinteraksi dengan partikel-partikel yang diinjeksikan. Prilaku sebaran dari partikel yang diinjeksikan melalui nosel (sebaran partikel dengan adanya gelembung) dapat diprediksikan secara lebih efisien dengan cara komputasi.

Pada penelitian ini difokuskan untuk mempelajari tentang pengaruh volume alir udara terhadap pola sebaran gelembung pada *bubble plume*. Pengamatan dilakukan pada aliran dua fase yaitu fase gas dan cair. Gas yang digunakan adalah udara yang diinjeksikan dari bawah bejana uji untuk membangkitkan gelembung udara. Sedangkan cairan yang digunakan adalah air.

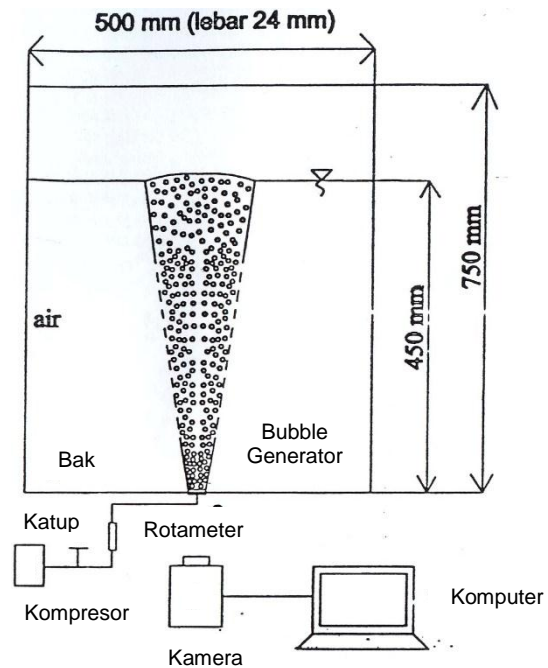
METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen. Untuk menguji secara eksperimental pengaruh volume alir udara terhadap pola sebaran gelembung pada *bubble plume*.

Pola sebaran gelembung dibangkitkan dengan menginjeksikan udara dari kompresor melalui *bubble generator*. Besarnya variasi volume alir udara (*gas flowrate*) diperoleh dengan mengatur bukaan katup/*valve*, yang selanjutnya bisa dibaca pada rotameter. Secara skematis instalasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

Instalasi peralatan penelitian terdiri dari sebuah bejana/bak penguji merupakan wadah fluida sebagai tempat dilakukannya pengamatan. Bak penguji tersebut tembus pandang (transparan). Ukuran bak penguji adalah panjang 500 mm, lebar 24 mm dan tinggi 750 mm. Bubble generator dibuat dari

110 jarum dengan diameter lubang 0,25 mm yang diletakkan pada bagian bawah bak penguji, berfungsi untuk menghasilkan gelembung pada fluida. Data dalam bentuk gambar didapat dengan menggunakan sebuah kamera, *Sony Digital Still Camera*, model DSC-P10 dengan kemampuan resolusi 5 Mega Pixel.



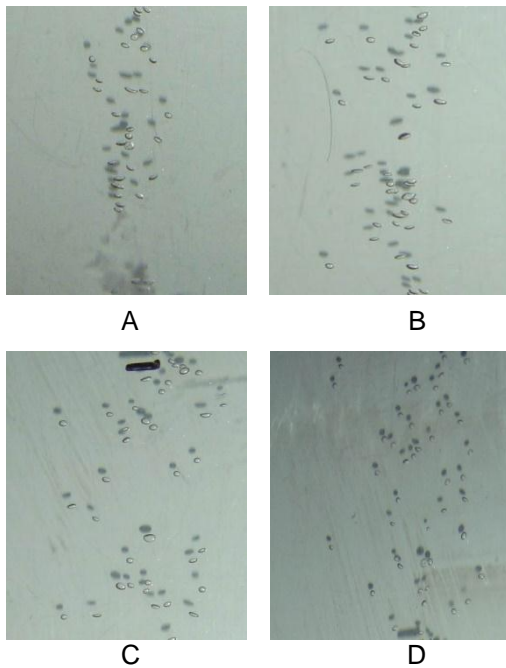
Gambar 1. Skema Instalasi Penelitian

Urutan pengambilan data sebagai berikut: alat disetting sesuai gambar. Kemudian air dimasukkan ke dalam bejana uji dengan ketinggian 450 mm. Selanjutnya udara diinjeksikan melalui *bubble generator* dengan variasi volume alir udara yaitu $Q_1 = 4.16 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$, $Q_2 = 6.67 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$, $Q_3 = 10.4 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$, $Q_4 = 18.83 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$, $Q_5 = 31.6 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$.

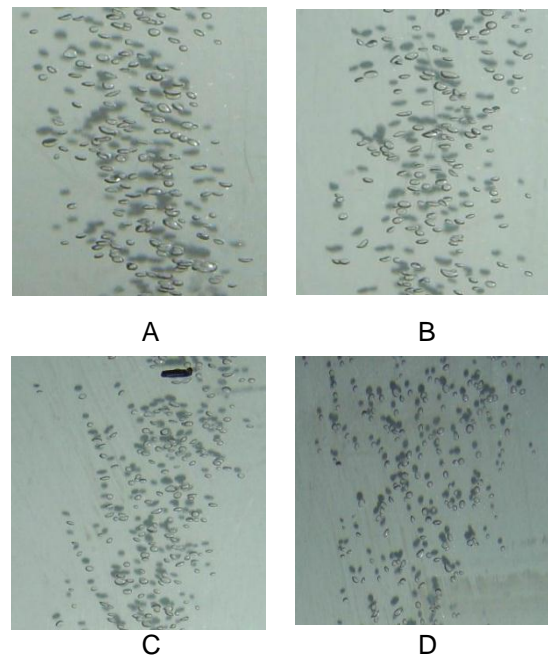
Gambar sebaran gelembung didapatkan dengan menggunakan kamera digital kemudian ditransfer ke komputer. Setelah itu dimensi gelembung diukur dengan fasilitas *measure tools* pada *NIH Image J software versi 1.60*. Hasil pengukuran kemudian dibuatkan grafik untuk dianalisis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

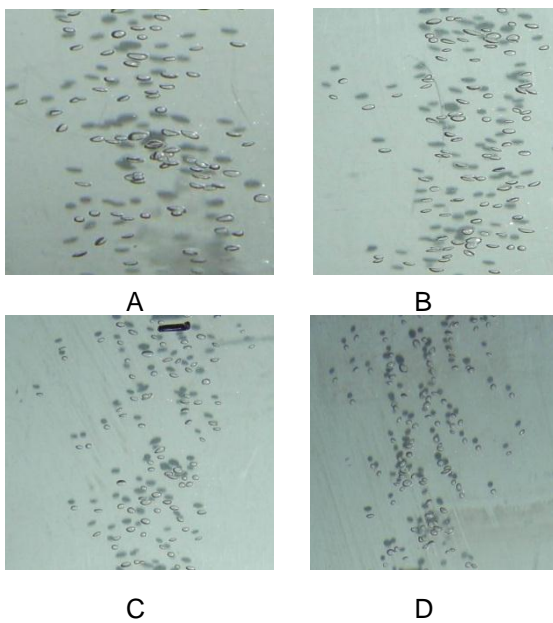
Gambar berikut adalah foto sebaran gelembung pada berbagai ketinggian daerah sebaran gelembung.



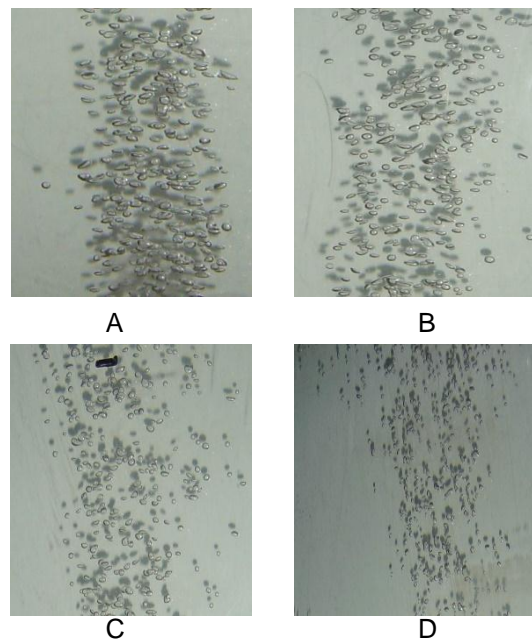
Gambar 2. Foto Sebaran Gelembung Untuk Volume Alir Udara $4.16 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$. Pada Daerah Ketinggian A. 5-15 cm (y1), B. 15-25 cm (y2), C. 25-35 cm (y3), D. 35-45 cm (y4)



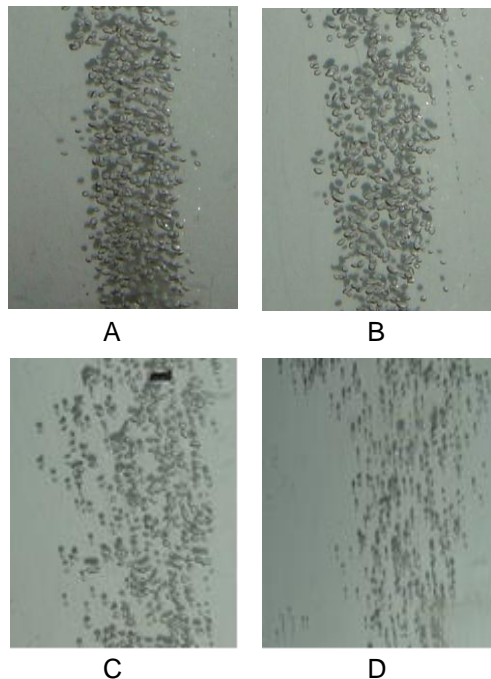
Gambar 4. Foto Sebaran Gelembung Untuk Volume Alir Udara $10.4 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$ Pada Daerah Ketinggian A. 5-15 cm (y1), B. 15-25 cm (y2), C. 25-35 cm (y3), D. 35-45 cm (y4)



Gambar 3. Foto Sebaran Gelembung Untuk Volume Alir Udara $6.67 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$. Pada Daerah Ketinggian A. 5-15 cm (y1), B. 15-25 cm (y2), C. 25-35 cm (y3), D. 35-45 cm (y4)



Gambar 5. Foto Sebaran Gelembung Untuk Volume Alir Udara $18.83 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$ Pada Daerah Ketinggian A. 5-15 cm (y1), B. 15-25 cm (y2), C. 25-35 cm (y3), D. 35-45 cm (y4)

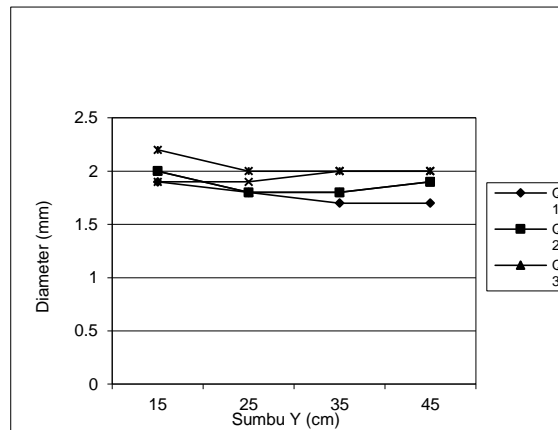


Gambar 6. Foto Sebaran Gelembung Untuk Volume Alir Udara $31.6 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$ Pada Daerah Ketinggian A. 5-15 cm (y1), B. 15-25 cm (y2), C. 25-35 cm (y3), D. 35-45 cm (y4);

Foto-foto pada gambar diatas adalah daerah sebaran gelembung yang dibagi kedalam 4 daerah sebaran pada semua volume alir udara. Daerah sebaran gelembung pertama atau y_1 adalah daerah pada ketinggian 15 cm (daerah antara 5 – 15 cm). Pada daerah ini gelembung-gelembung mulai terbentuk dan terpancar dengan ketinggian tertentu, sesuai dengan besar injeksi gas yang diberikan. Pada volume alir udara tertinggi yaitu $31.6 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$, pancaran gelembung mencapai ketinggian 25 cm karena kuatnya injeksi gas.

Daerah sebaran gelembung kedua (y_2) dan ketiga (y_3) adalah daerah pada ketinggian 25 cm (daerah antara 15 – 25 cm) dan pada ketinggian 35 cm (daerah antara 25 – 35 cm). Pada kedua daerah ini terjadi pemisahan dan penggabungan gelembung, kejadian ini menyebabkan terjadinya turbulensi aliran. Daerah sebaran gelembung keempat atau y_4 adalah daerah pada ketinggian 45 cm (daerah antara 35 – 45 cm). Daerah ini merupakan daerah dekat permukaan fluida, pada daerah ini sudah tidak terjadi pemisahan dan penggabungan gelembung sehingga pergerakan dan ukuran gelembung menjadi

stabil. Data berupa grafik hasil pengukuran gelembung dalam foto-foto pada gambar diatas adalah seperti ditampilkan pada gambar-gambar berikut. Grafik yang berhubungan dengan diameter rata-rata gelembung adalah sebagai berikut:



Keterangan:

Q1 = $4.16 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$

Q2 = $6.67 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$

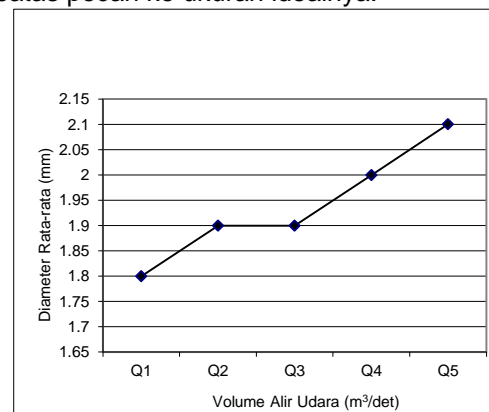
Q3 = $10.4 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$

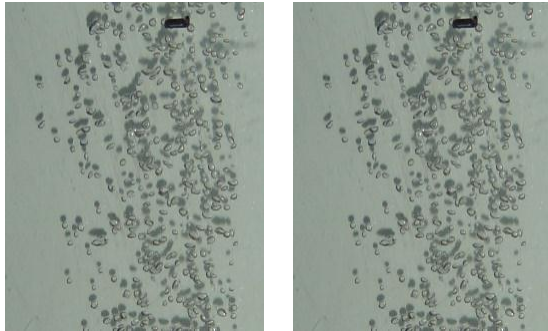
Q4 = $18.83 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$

Q5 = $31.6 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$

Gambar 7. Hubungan Diameter Rata-rata Terhadap Sumbu Y Pada tiap Volume Alir Udara.

Dari gambar 7 terlihat bahwa diameter rata-rata pada masing-masing volume alir udara mengalami perubahan ukuran diameter dengan Bergeraknya gelembung keatas didalam bejana. Pada awalnya diameter rata-rata gelembung di dasar bejana adalah besar kemudian menjadi lebih kecil dikarenakan gelembung tersebut dalam pergerakannya keatas pecah ke ukuran idealnya.

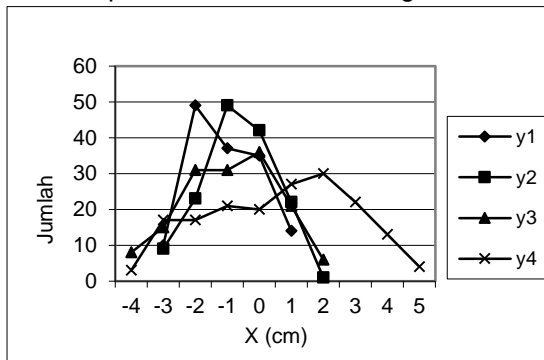




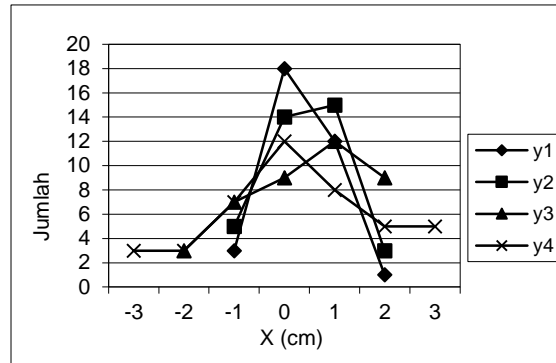
Gambar 8. Hubungan Diameter Rata-rata pada Tiap Volume Alir Udara.

Dari gambar 8 diatas tampak bahwa peningkatan volume alir udara disertai dengan peningkatan diameter rata-rata gelembung. Ini disebabkan karena peningkatan injeksi gas yang dihembuskan melalui *bubble generator* menyebabkan diameter gelembung menjadi semakin besar. Sedangkan pada volume alir udara Q2 dan Q3 mempunyai diameter rata-rata yang sama, disebabkan karena injeksi gas yang dihembuskan tidak terlalu berpengaruh untuk merubah ukuran gelembung menjadi lebih besar.

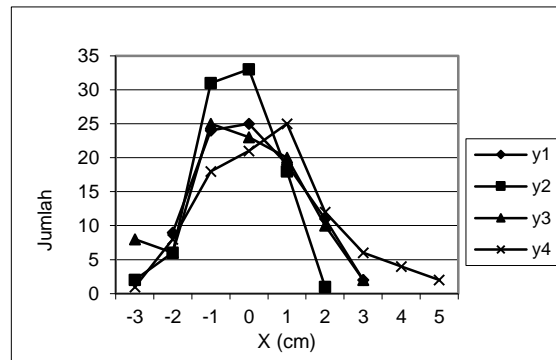
Data berupa grafik tentang sebaran jumlah gelembung pada jarak mendatar X (cm) untuk tiap volume alir udara sebagai berikut:



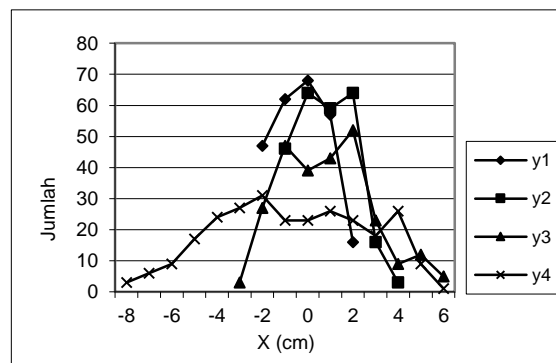
Gambar 9. Hubungan Jumlah Gelembung Terhadap Jarak Mendatar (X) Pada Volume Alir Udara $4.16 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{det}$



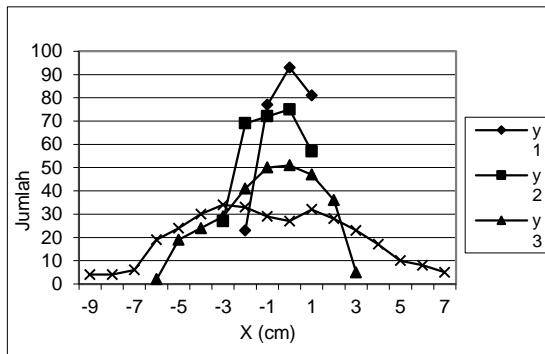
Gambar 10. Hubungan Jumlah Gelembung Terhadap Jarak Mendatar (X) Pada Volume Alir Udara $6.67 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{det}$



Gambar 11. Hubungan Jumlah Gelembung Terhadap Jarak Mendatar (X) Pada Volume Alir Udara $10.4 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{det}$



Gambar 12. Hubungan Jumlah Gelembung Terhadap Jarak Mendatar (X) Pada Volume Alir Udara $18.83 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{det}$



Gambar 13. Hubungan Jumlah Gelembung Terhadap Jarak Mendatar (X) Pada Volume Alir Udara $31.6 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{det}$

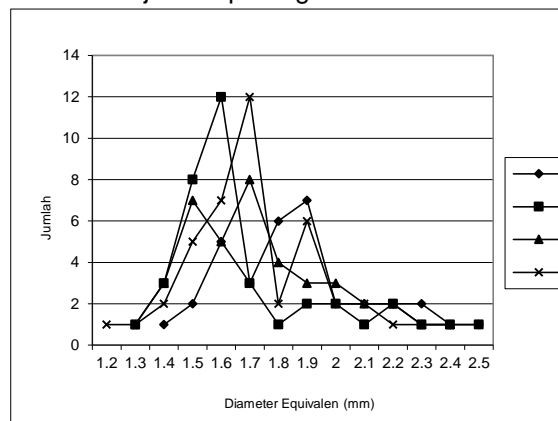
Dari gambar-gambar diatas tampak bahwa semakin meningkat volume alir udara, penyebaran gelembung semakin melebar. Pada ketinggian 15 cm gelembung-gelembung masih berkumpul ditengah, semakin keatas pergerakan gelembung semakin menyebar kearah sumbu X, dimana penyebaran terjauh terjadi pada ketinggian 45 cm. Dari gambar-gambar tersebut juga terlihat bahwa semakin keatas jumlah gelembung semakin banyak.

Pada daerah dekat bubble generator yaitu daerah dekat awal injeksi, kecepatan gelembung yang besar adalah akibat besarnya injeksi gas. Namun gelembung-gelembung masih berkumpul ditengah dekat sumbu Y. Pada daerah ini dibagian ujung *injektor* mulai terbentuk gelembung tunggal kemudian lepas bergerak keatas secara individu. Jika volume alir udara diperbesar terbentuk gelembung yang semakin banyak jumlahnya dan menyebar dengan jarak penetrasi tertentu pada cairan, sebelum gelembung itu terurai dan pecah menjadi lebih banyak lagi. Semakin keatas pada daerah y2, y3,y4, gaya injeksi gas semakin berkurang, pergerakan keatas gelembung dipengaruhi gaya apung dari bawah sedangkan dari atas dipengaruhi tekanan gaya tegangan permukaan. Semakin bergerak keatas, gelembung-gelembung semakin menyebar ke arah sumbu X. Peristiwa ini terjadi disebabkan karena semakin keatas pengaruh gaya apung berkurang sedangkan gaya tegangan permukaan dari atas semakin kuat. Pada laju aliran udara rendah, tidak terjadi interaksi antara gelembung – gelembung, karena gelembung yang terbentuk masih gelembung tunggal. Setelah volume alir udara

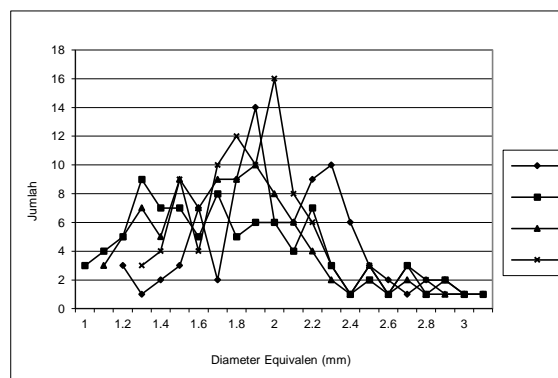
diperbesar gelembung-gelembung saling berinteraksi, terjadi pemisahan dan penggabungan gelembung. Pemisahan dan penggabungan gelembung ini menyebabkan turbulensi pada aliran. Hal ini disebabkan adanya peningkatan gaya inersia dan gaya viscous yang menimbulkan terjadinya ketidakstabilan aliran.

Pada daerah y4 adanya tegangan permukaan yang kuat menyebabkan penyebaran gelembung yang paling lebar. Pada daerah ini kecepatan *axial* gelembung menurun secara cepat disebabkan cairan mulai mengalir keluar dari *plume*.

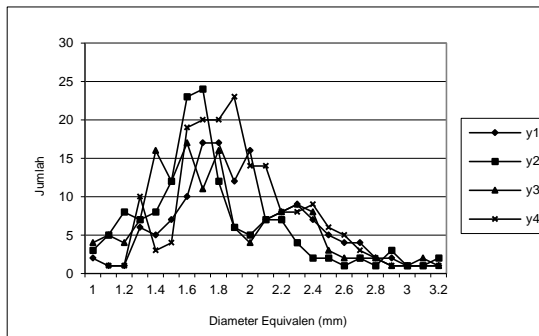
Hubungan sebaran diameter gelembung dan jumlah gelembung pada tiap volume alir udara ditunjukkan pada gambar berikut.



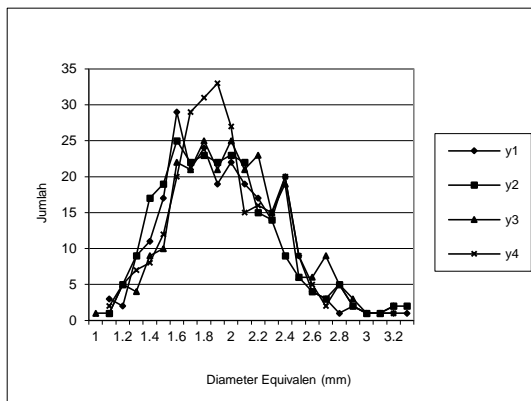
Gambar 14. Hubungan Diameter Terhadap Jumlah Gelembung Pada Volume Alir Udara $4.16 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{det}$



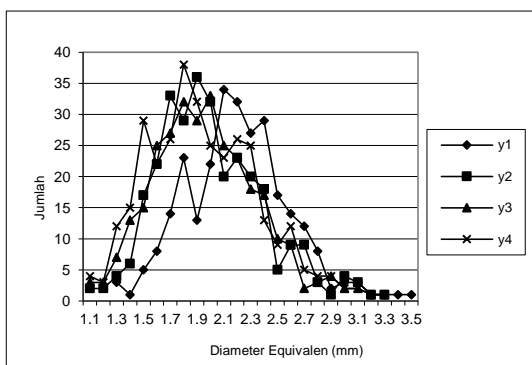
Gambar 15. Hubungan Diameter Terhadap Jumlah Gelembung Pada Volume Alir Udara $6.67 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{det}$



Gambar 16. Hubungan Diameter Terhadap Jumlah Gelembung Pada Volume Alir Udara $10.4 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{det}$



Gambar 17. Hubungan Diameter Terhadap Jumlah Gelembung Pada Volume Alir Udara $18.83 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{det}$



Gambar 18. Hubungan Diameter Terhadap Jumlah Gelembung Pada Volume Alir Udara $31.6 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{det}$

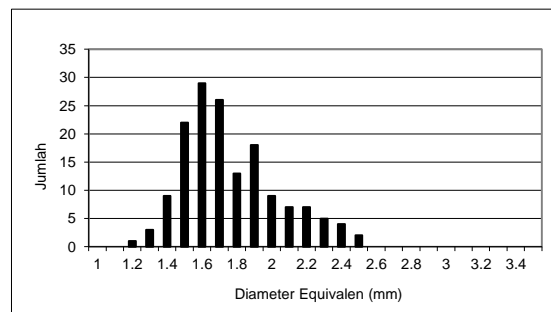
Dari gambar hubungan diameter terhadap jumlah gelembung terlihat bahwa semakin meningkat volume alir udara, jarak interval diameter semakin melebar atau bertambah.

Pada daerah dekat *bubble generator* yaitu *y1*, gelembung-gelembung mulai terbentuk dan diameter gelembung masih berukuran besar tergantung besar volume alir udara yang diinjeksikan. Semakin besar volume alir udara semakin besar pula diameter gelembung. Pada volume alir udara yang rendah, gelembung-gelembung melepaskan diri dari *bubble generator* secara individu, sedangkan pada volume alir udara yang tinggi, gelembung-gelembung keluar membentuk pancaran yang menembus suatu jarak tertentu ke dalam cairan.

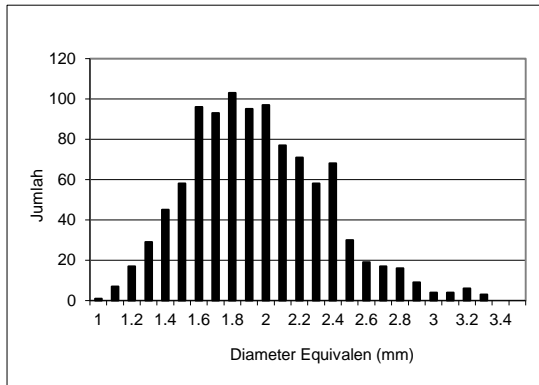
Pada daerah *y2* dan *y3*, gelembung-gelembung yang terbentuk tadi, pecah menjadi ukuran yang lebih kecil dan berjumlah lebih banyak. Ini disebabkan karena adanya pengaruh gaya hambat cairan, gaya apung gelembung, tegangan permukaan pada gelembung, kecepatan geser antara gelembung dan cairan, serta adanya energi kinetik gelembung. Pada daerah ini juga terjadi penggabungan gelembung tapi jumlahnya tidak banyak. Energi kinetik gelembung menyebabkan turbulensi pada aliran, terjadi gerakan berputar partikel-partikel air dan gelembung menyebabkan peningkatan torsi dan terjadi transfer energi. Hal ini menyebabkan momen inersia meningkat. Peningkatan volume alir udara, menyebabkan gaya-gaya tadi menjadi semakin besar sehingga gelembung-gelembung yang pecah dan bergabung menjadi semakin banyak.

Pada daerah *y4* atau daerah dekat permukaan, pergerakan dan ukuran gelembung cenderung stabil karena tidak adanya pemisahan dan penggabungan gelembung.

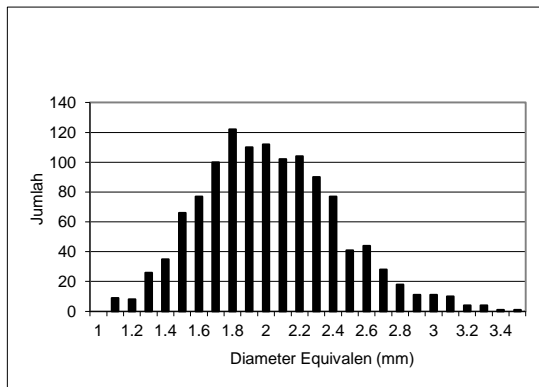
Histogram diameter dan jumlah total gelembung tampak pada gambar berikut.



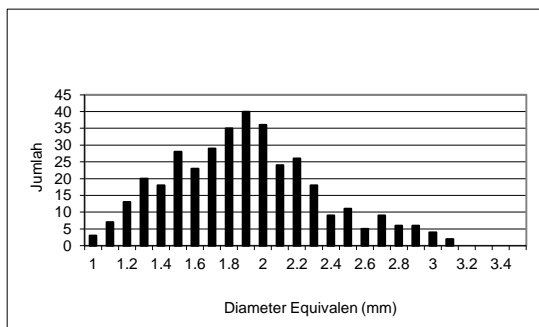
Gambar 19. Histogram Diameter dan Jumlah Total Gelembung Pada Volume Alir Udara $4.16 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{det}$



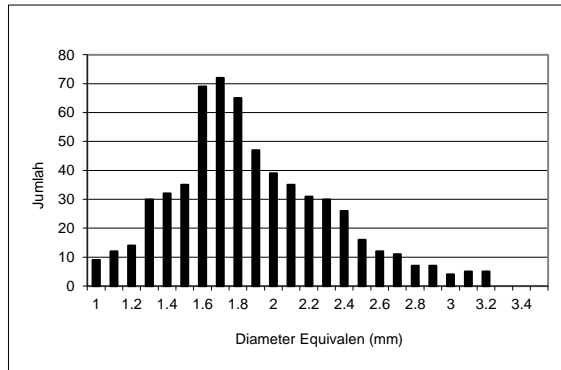
Gambar 20. Histogram Diameter dan Jumlah Total Gelembung Pada Volume Alir Udara $6.67 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{det}$



Gambar 21. Histogram Diameter dan Jumlah Total Gelembung Pada Volume Alir Udara $10.4 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{det}$



Gambar 22. Histogram Diameter dan Jumlah Total Gelembung Pada Volume Alir Udara $18.83 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{det}$



Gambar 23. Histogram Diameter dan Jumlah Total Gelembung Pada Volume Alir Udara $31.6 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{det}$

Dari gambar-gambar diatas yang memuat histogram diketahui bahwa pada volume alir udara $4.16 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$, $10.4 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$, $18.83 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$ dan $31.6 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$ terlihat penyebaran diameter gelembung tidak merata disebabkan munculnya gelembung-gelembung yang berukuran lebih besar dari ukuran diameter rata-ratanya dalam jumlah yang lebih banyak dibanding gelembung-gelembung yang berukuran lebih kecil dari diameter rata-rata. Ini ditandai dengan bentuk kurva histogram yang tidak simetris dengan bentuk yang berat ke sebelah kiri atau memiliki nilai skew yang positif.

Pada volume alir udara $6.67 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}$, penyebaran diameter gelembung hampir merata dimana munculnya gelembung-gelembung yang berukuran lebih besar dan lebih kecil dari diameter rata-rata dalam jumlah yang hampir sama ditandai dengan bentuk kurva histogram yang hampir simetris.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Peningkatan volume alir udara meningkatkan jumlah gelembung yang dihasilkan. Peningkatan volume alir udara juga mengakibatkan penyebaran gelembung semakin melebar.
2. Peningkatan volume alir udara meningkatkan diameter rata-rata gelembung. Peningkatan volume alir udara mengakibatkan semakin melebarnya interval diameter gelembung.

3. Pada daerah dekat *bubble generator* gelembung-gelembung mulai terbentuk secara individu, semakin gelembung tersebut bergerak keatas yaitu pada daerah *fully develop* terjadi pemisahan dan penggabungan gelembung, pada daerah dekat permukaan ukuran gelembung cenderung stabil karena tidak terjadi pemisahan dan penggabungan gelembung lagi.
4. Pada berbagai volume alir udara, sebaran diameter gelembung cenderung tidak merata karena muncul gelembung-gelembung yang berukuran sangat besar dan sangat kecil dari diameter rata-ratanya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Farmer D.M., C. L. MacNeil, dan B.D. Johnson, 1993. *Evidence for the importance of bubbles in increasing air-sea gas flux*, Nature, 361, 620-623.
- [2] Asher, W.E, L.M.Karle, B.J. Higgins, P.J.Farley, I.S.Leifer, dan E.C.Monahan, 1996. *The influence of bubble plumes on air-seawater gastransfer velocities*. J. Geophys. Res. 101 (C5), 12 027-12 041.
- [3] Woolf, D.K., 1997. *Bubbles and their role in gas exchange. The Sea Surface and Global Change*, P.S. Liss and R.A. Duce, Eds., Cambridge University Press, 17-205.
- [4] Kawase, Y., B. Halard, dan Moo-Young, 1992. *Liquid phase mass transfer coefficients in bioreactors*. Biotechnol. Bioengng., 39, 1133-1140.
- [5] Asselin, C., Y. Comeau, dan Q.A. Ton-That, 1998. *Alpha correction factors for static aerators and fine bubble diffusers used in municipal facultative aerated lagoons*. Wat. Sci. Tech., 38, 79-85.
- [6] Liss, P.s, dan Coauthors, 1997. *Physical processes in the microlayer and the air-sea exchange of trace gases*. The Sea Surface and Global Change, P. Leifer, De Leeuw, and Cohen-Optical Bubble Measurement Sistem Design 21 Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, In Press.
- [7] Blanchard, D.C., 1963. *Electrification of the atmosphere by particles from bubbles in the sea*. Progress in Oceanography, Vol. 1, Pergamon, 73 – 197.
- [8] Monahan, E.C., 1986. *The ocean as a source for atmospheric particles. The Role of Air-Sea Exchange in Geochemical cycling*, P. Buat-Menard, Ed., D. Reidel, 129-163.
- [9] De Leeuw, G., 1990. *Spray droplet source function: from laboratory to open ocean. Workshop on modelling the fate and influence of marine spray*. "Proceedings of a Workshop Held 6-8 june 1990, Luminy, Marseille, France, P.G. Mestayer, et al., Eds., Marine Sciences Institute, Uconn, Groton, 17-28.
- [10] Spiel, D., 1998. *On the births of film drops from bubbles bursting on seawater surface*. J.Geophys. Res., 103 (C11), 24 907-24 918.
- [11] Blanchard, D.C, 1989. *The ejection of drops from the sea and their enrichment with bacteria and other materials: A review*. Estuaries, 12, 127-137.
- [12] Thorpe, S.A, 1982. *On the clouds of bubble formed by breaking wind-waves in deep water and their role in air-sea gas transfer*. Phil.Trans. Roy.Soc.London, A304, 155-210.
- [13] Kitaigorodskii, S.A., 1984. *Wind-wave effects on gas transfer. Gas Transfer at Water Surfaces*, W. Brutsaert and G.H. Jirka, Eds., D. Reidel, 141-170.
- [14] Asher, W.E, L.M. Karle, dan B.J. Higgins, 1997. *On the difference between bubble-mediated air-water transfer in freshwater and seawater*. J.Mar.Res., 55, 1-34.
- [15] Colin .C, dan Legendre. D, 2004. *Bubble distribution in turbulent shear flows: experiments and numerical simulations on single bubbles*.
- [16] Khan, M.N.H., Qinglin He, Geoffry Evans, Anh Nguyen, 2004. *Dispersion of particles injected through an impinging vertical round jet*.