

Pengaruh Diameter Gelembung Hidrogen Terhadap Penurunan Tekanan (Pressure Drop) Pada Saluran Tertutup Segi-Empat

Rachmat Subagyo¹, I.N.G. Wardana², Agung S.W²., Eko Siswanto²

¹Mahasiswa Program Doktor Teknik Mesin Universitas Brawijaya

²Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

* E-mail: rsunlam@gmail.com

Abstrak. Penggunaan gelembung mikro (*mikrobubble*) sudah lama diperkenalkan dan diaplikasikan pada teknik perkapalan. Pada dasarnya mikrobubble adalah gelembung yang sangat kecil dengan ukuran diameter 0,1mm atau kurang. Ukuran diameter gelembung sangat berpengaruh terhadap kerugian tekanan yang terjadi pada aliran fluida. Gelembung mikro di aliran fluida menghasilkan pengurangan drag dengan menurunkan viskositas rata-rata dan densitas gas-cair pada aliran campuran. Penelitian ini meninjau pengaruh diameter gelembung terhadap penurunan tekanan (*pressure drop*) yang terjadi. Fluida kerja yang digunakan adalah air yang dialirkan melalui saluran akrilik persegi dengan ukuran 18× 9 mm. Bagian dasar saluran dipasang pita serbuk Mg dengan ukuran butir 160µm untuk menciptakan efek bubble pada aliran fluida. Sebagai pembanding digunakan pita Fe dengan ukuran butir yang sama dan nilai kekasaran yang terukur. Untuk memperoleh nilai pressure drop yang berbeda debit fluida divariasikan dari 0,015 lt/s sampai 0,145 lt/s. Dari hasil penelitian ini menunjukkan: Pada aliran turbulen ukuran gelembung yang terbentuk akan terhambat. Sehingga diameter rata-rata gelembung akan mengecil seiring dengan semakin tingginya nilai bilangan Reynold dan kecepatan aliran. Efek gelembung pada aliran turbulen mampu mengurangi kerugian tekanan yang terjadi pada aliran dalam pipa kisaran (23-46%).

Kata Kunci: diameter gelembung, efek gelembung, gelembung mikro (*mikrobubble*), pita serbuk Mg, penurunan tekanan (*pressure drop*).

1. Pendahuluan

Penggunaan gelembung mikro (*mikrobubble*) sudah lama diperkenalkan dan diaplikasikan pada teknik perkapalan oleh^[1]. Aplikasi dari gelembung mikro ini digunakan pada lambung kapal untuk mereduksi hambatan. Hasil dari penelitian ini mampu untuk mereduksi hambatan hingga 65% menggunakan elektrolisis air yang menghasilkan gelembung Hidrogen. Aplikasi gelembung mikro banyak di minati karena biaya yang rendah dan ramah lingkungan.

Pada dasarnya mikrobubble adalah gelembung yang sangat kecil dengan ukuran diameter 0,1 mm atau kurang. Diameter gelembung dengan ukuran lebih besar dari 1 mm tidak berpengaruh pada pengurangan hambatan pada aliran. Ada berbagai cara memproduksi gelembung ini tetapi yang paling umum adalah dengan cara elektrolisis dan memaksa gas melalui beberapa media berpori seperti penelitian yang dilakukan oleh^[2].

Menurut^[3] gelembung mikro di aliran fluida menghasilkan pengurangan drag dengan menurunkan viskositas rata-rata dan densitas gas-cair pada aliran campuran. Penurunan viskositas dan densitas ini dikarenakan berkurangnya Reynolds stres melalui interaksi microbubbles dengan cairan. Apabila pada suatu aliran terjadi aliran dua fase antara gas dengan cairan mengakibatkan:

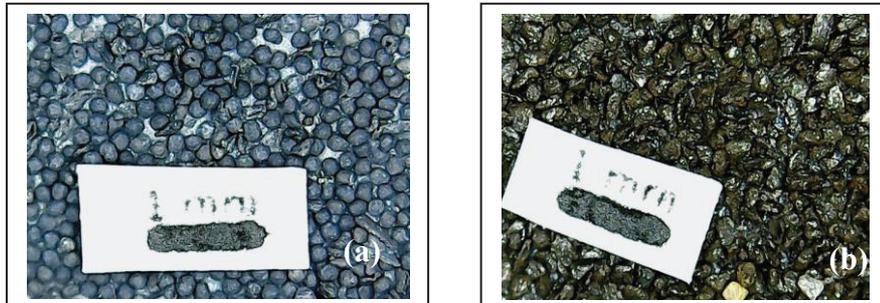
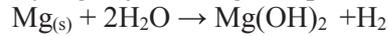
$$\mu_r = \frac{\mu_w + \mu_{gas}}{2} < \mu_w \quad (\text{viskositas rata-rata} < \text{viskositas fluida}) \quad (1)$$

$$F_r = \mu_r A \frac{\Delta u}{\Delta y} \pi r^2 < F_w \quad (\text{gaya geser rata-rata} < \text{gaya geser fluida}) \quad (2)$$

$$\tau = \frac{F_r}{A} = \mu_r \frac{du}{dy} \pi r^2 < \tau_w \quad (\text{tegangan geser rata-rata} < \text{tegangan geser fluida}) \quad (3)$$

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu variasi bilangan Reynolds dengan cara mengatur bukaan katup. Variabel terikat yang diamati adalah diameter gelembung Hidrogen yang terbentuk dari reaksi antara Magnesium (Mg) dengan air. Reaksi yang terjadi mengikuti persamaan reaksi sebagai berikut:



Gambar 1. Hasil gambar digital microscope pada permukaan pita Mg (a) dan Pita Fe (b)

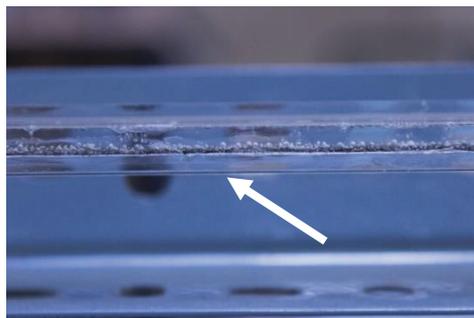
Sebagai pembanding digunakan pita Fe dimana, kekasaran pita Fe lebih rendah dibandingkan dengan pita Mg. Nilai kekasaran ini diperoleh dengan cara pengukuran pada tiga titik permukaan masing-masing pita dengan menggunakan alat ukur kekasaran.

Tabel 1. Nilai kekasaran dari pita Mg dan Fe (dalam μm)

No.	Bahan	Titik pengujian			Rata-rata	% kekasaran
		1	2	3		
1.	Pita serbuk Magnesium (Mg)	17,33	26,76	20,14	21,41	50,02
2.	Pita serbuk Besi (Fe)	21,73	21,6	18,92	20,75	48,48

Prosedur pengambilan data

Proses pengambilan data dimulai dengan pengaturan level air pada penampung diatur pada level yang tetap dan telah stabil. Katup pengatur debit diatur dari bukaan kecil sampai pada bukaan maksimal. Pengambilan data dimulai ketika reaksi antara pita serbuk Mg dan air telah bereaksi secara sempurna ditandai dengan terbentuknya gelembung pada permukaan pita serbuk Mg pada saluran akrilik.



Gambar 2. Gelembung Hidrogen yang terbentuk pada seksi uji

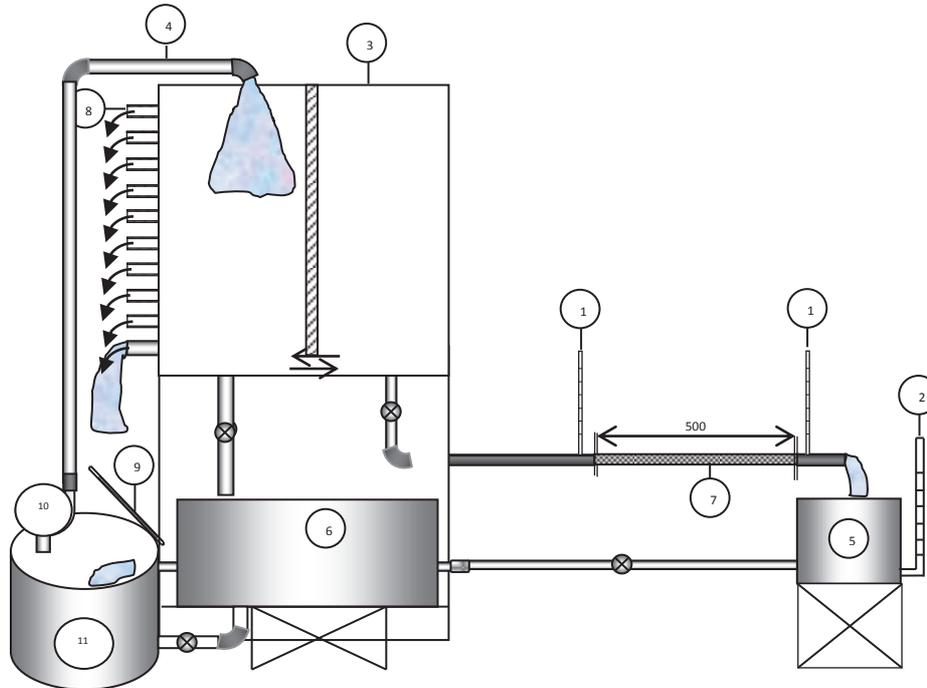
Data yang diambil adalah debit aliran untuk mencari bilangan Re pada setiap bukaan katup. Teknik pengukuran debit dilakukan dengan cara menutup katup saluran buang kemudian mencatat waktu yang dibutuhkan aliran untuk mengisi volume bak pengukur debit setiap 2 liter. Pengambilan data ini di ulang sampai memperoleh beberapa variasi bilangan Re sesuai dengan data yang diperlukan.

Pengukuran pressure drop dilakukan dengan memasang manometer air sebelum dan sesudah seksi uji sepanjang 500 mm. Dengan variasi bilangan Re diatas maka akan diperoleh nilai pressure drop yang berbeda dari aliran laminar, transisi dan turbulen.

Pengambilan foto visualisasi gelembung Hidrogen dilakukan pada setiap variasi bilangan Re dengan kenaikan tekanan setiap 10mm H₂O. Hasil pengambilan gambar diolah menggunakan *software* Image-J untuk mengetahui diameter gelembung yang terbentuk pada permukaan serbuk Mg.

3. Instalasi Penelitian

Instalasi penelitian diperlihatkan pada gambar 3. Pada instalasi penelitian ini dibuat sedemikian sehingga fluida kerja bisa disirkulasikan untuk memperoleh data pressure drop dan visualisasi gelembung Hidrogen yang terbentuk.



Gambar 3. Instalasi penelitian

Keterangan :

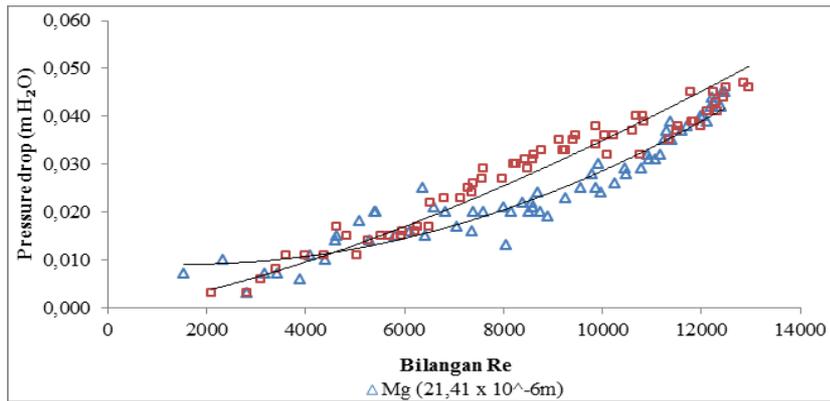
- | | |
|---------------------------|------------------|
| 1. Manometer | 7. Tes section |
| 2. Pengukur debit | 8. Pelimpah |
| 3. Tangki atas | 9. Termometer |
| 4. Pipa penyambung | 10. Pompa |
| 5. Tangki pengukur debit | 11. Tangki bawah |
| 6. Tangki penampung bawah | |

4. Pengolahan Data

Data debit aliran dipergunakan untuk menghitung kecepatan aliran. Data temperatur aliran digunakan untuk menentukan nilai viskositas kinematik dari fluida kerja. Perhitungan diameter hidrolis berdasarkan ukuran penampang saluran. Selanjutnya data kecepatan aliran dan nilai viskositas kinematik dipergunakan untuk menghitung nilai bilangan Reynold. Dari bilangan Reynold dapat diketahui jenis aliran yang terbentuk yaitu: aliran laminar ($Re < 3200$), transisi Re (3200-4000) atau turbulen ($Re > 4000$). Dari pembacaan tekanan sebelum dan sesudah seksi uji diperoleh selisih nilai tekanan (*pressure drop*).

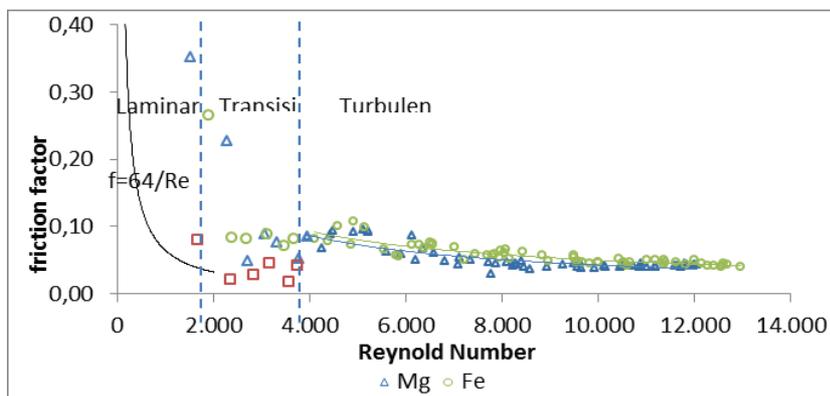
Data hasil visualisasi pada saluran dengan pita Magnesium, diamati dan dihitung berapa diameter rata-rata gelembung yang terbentuk pada saluran. Hasil pengukuran diameter akan dibandingkan terhadap bilangan Reynold aliran untuk melihat bagaimana karakter perkembangan ukuran gelembung. Selanjutnya dihitung pula bagaimana standar deviasi dan skewness dari pengukuran diameter rata-rata gelembung.

5. Hasil dan Pembahasan



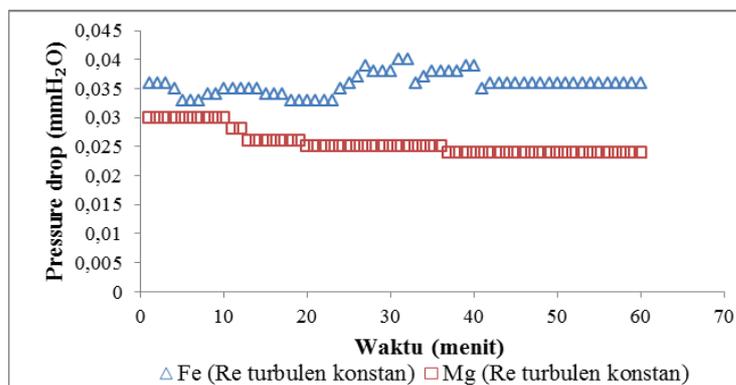
Gambar 4. Grafik hubungan bilangan Re terhadap pressure drop

Dari (gambar 4) memperlihatkan tren grafik yang menunjukkan pada bilangan Re rendah antara 2000-4000, pita Mg mempunyai nilai kerugian tekanan yang lebih besar dibandingkan dengan pita Fe. Kemudian pada bilangan Re diatas 4000 keadaan justru berbalik pada Pita Mg mampu mengurangi pressure drop sekitar (23-46%). Hal ini di sebabkan oleh adanya pengaruh gelembung yang terbentuk pada pita Mg. Adanya gelembung dapat mengurangi kerugian tekanan yang terjadi. Penurunan tekanan ini terjadi pada aliran turbulen pada bilangan Re diatas 4000.



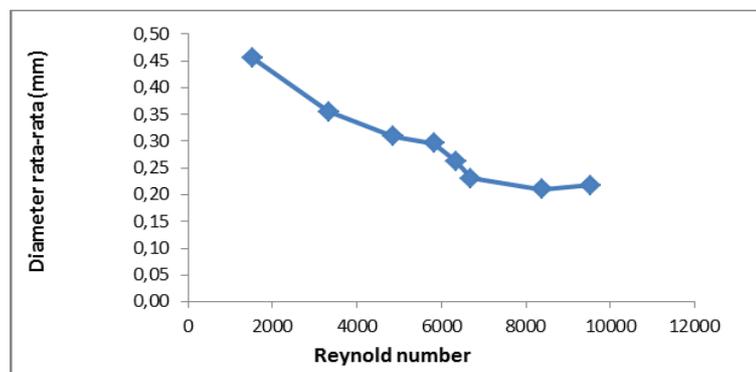
Gambar 5. Grafik hubungan bilangan Re terhadap friction factor

Hasil uji kekasaran pada pita serbuk Mg menunjukkan nilai kekasaran yang lebih tinggi dibanding dengan nilai kekasaran dari pita serbuk Fe, tetapi nilai *friction factor* justru berlaku sebaliknya. Jika ditinjau dari tingkat kekasaran tentu karakteristik yang dihasilkan oleh aliran pada pipa dengan pita serbuk Mg berbeda dengan teori yang ada. Namun ada faktor lain selain kekasaran yang perlu ditinjau bahwa pada pipa dengan pita serbuk magnesium (Mg) mampu bereaksi dengan air membentuk gelembung gas Hidrogen, sedangkan pada pita Fe tidak terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa gelembung berpengaruh pada nilai friction factor pada aliran.



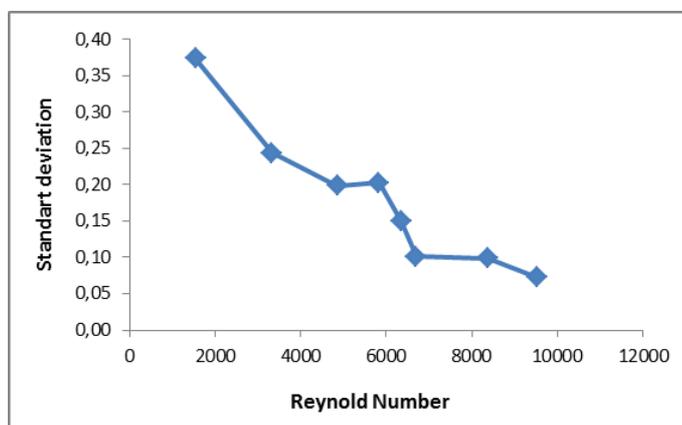
Gambar 6. Grafik hubungan waktu terhadap pressure drop pada bilangan Re turbulen konstan

Pada bilangan Re turbulen pita Mg lebih stabil dan menunjukkan tren grafik yang menurun seiring dengan bertambahnya waktu. Pada pita Fe pressure drop cenderung naik dan tidak stabil. Pengaruh gelembung hidrogen sangat efektif untuk meminimalisir kekasaran permukaan pada pita Mg dibandingkan dengan pita Fe.



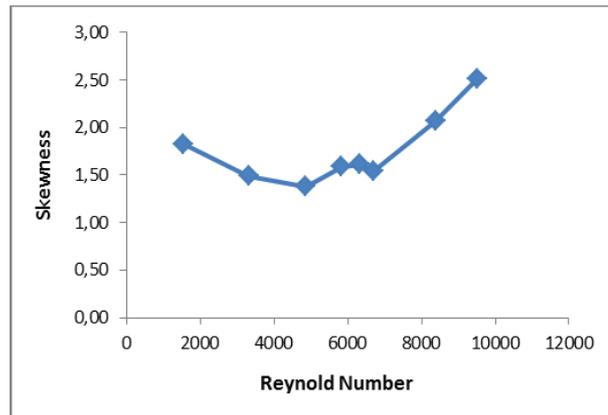
Gambar 7. Grafik hubungan bilangan Reynold terhadap ukuran diameter rata-rata gelembung

Pada (gambar 7) menunjukkan ukuran gelembung yang terbentuk pada berbagai variasi bilangan Reynold. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi bilangan Reynold maka diameter rata-rata gelembung yang terbentuk semakin mengecil (0,455mm-0,218mm). Semakin besar bilangan Reynold menunjukkan semakin tinggi kecepatan fluida yang mengalir. Dengan kecepatan aliran yang semakin tinggi, ukuran gelembung yang terbentuk dari hasil reaksi magnesium (Mg) dan air (H_2O) akan terhambat. Sehingga diameter rata-rata gelembung akan semakin kecil seiring dengan semakin tingginya nilai bilangan Reynold pada aliran.



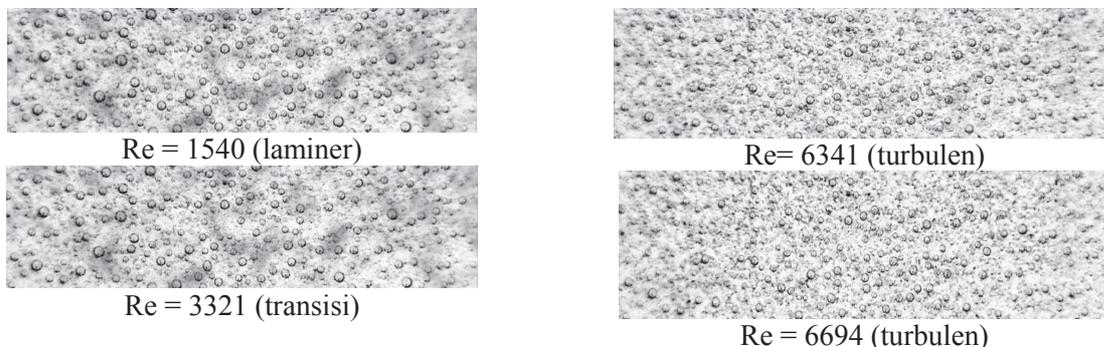
Gambar 8. Grafik hubungan bilangan Reynold terhadap standar deviasi pengukuran diameter rata-rata gelembung

Standar deviasi merupakan nilai statistik yang digunakan untuk menentukan bagaimana sebaran data dalam sampel, dan seberapa dekat titik data individu ke atau rata-rata nilai sampel. Jika ditinjau dari (gambar 8), nilai standar deviasi pengukuran diameter rata-rata gelembung semakin menurun ketika nilai bilangan Reynold semakin tinggi. Pada bilangan Reynold rendah nilai standar deviasi yang masih tinggi pada angka sekitar 16% menunjukkan persebaran data diameter gelembung masih tinggi terhadap diameter rata-rata. Ukuran gelembung masih bervariasi dari yang berukuran kecil hingga berukuran besar. Seiring pertambahan nilai bilangan Reynold, nilai standar deviasi semakin turun mendekati angka 4%. Hal ini menunjukkan bahwa persebaran data semakin menurun dan mendekati nilai rata-ratanya. Ukuran gelembung yang terbentuk akan semakin seragam dari pada sebelumnya. Nilai standar deviasi pengukuran diameter gelembung yang semakin kecil menunjukkan bahwa ukuran diameter gelembung semakin rata dengan bertambahnya bilangan Reynold.



Gambar 9. Grafik hubungan bilangan Reynold terhadap *skewness* pengukuran diameter gelembung

Dari hasil perhitungan, *skewness* data pengukuran diameter gelembung menghasilkan nilai positif seperti yang ditunjukkan grafik pada (gambar 9). Pada angka Reynold sebelum 5000, nilai *skewness* menurun dari 1,829 ke 1,489. Penurunan ini menunjukkan sebagian gelembung masih mampu bertambah besar disamping rata-rata gelembung yang bertambah kecil. Pada angka Reynold diatas 5000 nilai *skewness* meningkat kembali dari 1,588 ke 2,517. Dengan meningkatnya *skewness* menunjukkan bahwa peningkatan frekuensi ukuran diameter gelembung di bawah diameter rata-rata semakin meningkat seiring semakin tingginya bilangan Reynold. Dengan kata lain semakin banyak gelembung yang berkurang ukurannya pada bilangan Reynold 5000 keatas. Jadi pada aliran laminer hingga turbulen awal (sebelum Re 5000) sebagian gelembung hasil reaksi Mg dan H₂O masih mampu tumbuh membesar. Namun pada bilangan Reynold 5000 keatas, rata-rata gelembung tidak dapat tumbuh membesar dan justru terus semakin berkurang diameternya.



Gambar 10. Visualisasi gelembung pada pipa dengan pelapis serbuk Mg dengan Image-J

Dari pengambilan foto visualisasi aliran (gambar 10) dengan ImageJ juga menunjukkan bahwa ada perbedaan kondisi gelembung dengan penambahan bilangan Reynold. Semakin tinggi bilangan Reynold aliran maka semakin kecil ukuran diameter rata-rata gelembung yang terbentuk di dasar saluran.

6. Kesimpulan

Adanya gelembung pada aliran turbulen mampu mengurangi kerugian tekanan yang terjadi pada aliran dalam pipa.

- Pada kecepatan aliran yang semakin tinggi, ukuran gelembung yang terbentuk dari hasil reaksi magnesium (Mg) dan air (H₂O) akan terhambat. Sehingga diameter rata-rata gelembung akan semakin kecil seiring dengan semakin tingginya nilai bilangan Reynold dan kecepatan aliran.

- b) Nilai standar deviasi pengukuran diameter gelembung yang semakin kecil menunjukkan bahwa ukuran diameter gelembung semakin rata dengan bertambahnya bilangan Reynold.
- c) Pada aliran laminar hingga turbulen awal (sebelum Re 5000) sebagian gelembung hasil reaksi Mg dan H₂O masih mampu tumbuh membesar. Namun pada bilangan Reynold 5000 keatas, rata-rata gelembung tidak dapat tumbuh membesar dan justru terus semakin berkurang diameternya (semakin mengecil).

7. Daftar Referensi

- [1] M. E. Mc. Cormick and R. Bhattacharyya, 1973, Drag reduction of a submersible hull by electrolysis, *Naval Engineering* 85 (1973) 11.
- [2] S.J. Wu, K. Outyang, S.W. Shiah, 2008, Robust design of microbubble drag reduction in a channel flow using the Taguchi method,” *Ocean Engineering*, Volume 35, Issues 8-9, pp.856-863.
- [3] Hayder A. Abdulbari dkk, 2013, Going against the flow-A review of non-additive means of drag reduction, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 19 (2013) 27–36.