

## Dinamika *Bubble* pada Aliran *Creep*

Warjito dan LT Erick  
Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia  
Depok, Jawa Barat  
E-mail: [eikobing@yahoo.com](mailto:eikobing@yahoo.com)

### ABSTRAK

Pentingnya aliran fase banyak dan aliran *creep* dalam bidang teknik dan kehidupan manusia melatarbelakangi penelitian ini. Dalam penelitian ini gelembung udara yang mengalir pada aliran *creep* dan perilakunya diamati. Sebuah *water loop* terbuka digunakan untuk meneliti apa yang terjadi pada gelembung didalam aliran *creep*. Test cell berupa pipa acrylic dengan diameter dalam 4 mm dan panjang 50 mm digunakan untuk meneliti perilaku gelembung tersebut. Penelitian ini memperlihatkan bahwa kecepatan gelembung dipengaruhi oleh dinding pembatas aliran dan diameter gelembung. Dengan bertambahnya ukuran gelembung kecepatan gelembung menurun, yang berarti diperlukan waktu yang lebih lama untuk keluar dari test cell. Perubahan bentuk gelembung tidak teramati dikarenakan diameter gelembung yang diamati tidak cukup besar.

Kata kunci : gelembung, *creep flow*, kecepatan.

### 1. PENDAHULUAN

Sebuah aliran fluida digolongkan kedalam aliran non-inersia (*inertialess flow*), jika kekentalan (viskositas) fluida menjadi faktor terpenting yang menentukan dinamika aliran tersebut, sementara faktor-faktor lainnya diabaikan. Salah satu contoh aliran ini adalah aliran *creep* (*creep flow*), yaitu aliran dengan bilangan Reynolds (Re) yang rendah. Beberapa contoh aplikasi aliran *creep* adalah aliran pelumas pada bantalan (*bearing*) dan aliran material pada proses ekstrusi atau *injection moulding*.

Gelembung (*bubble*) adalah partikel yang terbentuk jika gas diinjeksikan ke dalam fluida cair. Bagian dalam suatu gelembung adalah gas atau uap. Gelembung dijumpai hampir pada semua sistem keteknikan yang menggunakan fluida. Penelitian-penelitian terdahulu yang dilakukan terhadap gelembung bertujuan untuk mengabadikan dan memvisualisasikan gelembung dalam gerak bebas. Penelitian mengenai lintasan gelembung didalam sebuah bejana dilakukan oleh Ristanto dkk<sup>[1]</sup>. Pada penelitian ini gelembung dihasilkan melalui *nozzle* dan lintasannya dianalisa. Sementara Blackmore<sup>[2]</sup> melakukan penelitian tentang pelepasan gelembung dari *slit* oleh tegangan geser, yaitu fenomena yang terjadi pada *bearing*.

Permasalahan yang muncul adalah bagaimana perilaku gelembung didalam aliran *creep*. Apa yang terjadi terhadap gelembung, serta faktor apa saja yang mempengaruhi perilaku tersebut. Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengamati dan memvisualisasikan perilaku gelembung dalam aliran *creep*.
2. Memvisualisasikan perubahan bentuk gelembung ketika melalui celah sempit (*slit*).
3. Mengidentifikasi dan menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan perilaku ketika melalui celah sempit (*slit*).

### 2. TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Keseimbangan Gaya Didalam Gelembung

Keseimbangan gaya pada antar-muka (*interface*) gelembung sferoidal dan fase kontinunya sesuai dengan persamaan Laplace of Capilarity<sup>[1]</sup>, sebagai berikut:

$$\pi R^2 (P_1 - P_g) = 2\pi R \cdot \sigma \quad (1)$$

yaitu gaya tekan yang bekerja pada permukaan sama dengan gaya yang bekerja pada keliling antar-muka, dimana :

R = jari-jari gelembung.

$\sigma$  = tegangan permukaan antar-muka (*interface*).

$(P_1 - P_g)$  = perbedaan tekanan antara fluida dan gelembung.

#### 2.1. *Creep Flow*

Aliran *creep* (*creep flow*) termasuk kedalam *inertialess flow*, yaitu aliran yang menekankan viskositas (kekentalan) sebagai faktor terpenting dalam analisisnya<sup>[2]</sup>. Aliran *creep* adalah aliran dengan nilai bilangan Reynolds (Re) yang rendah. Bilangan Reynolds didefinisikan sebagai perbandingan antara *inertial force* dan *viscous force*<sup>[4]</sup>,

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \quad (2)$$

Nilai bilangan Reynolds yang rendah, didapat jika pembilang ( $\rho$ ,  $v$ ,  $d$ ) bernilai kecil atau jika penyebut ( $\mu$ ) bernilai besar, yaitu :

Besarnya nilai bilangan Reynolds untuk aliran *creep* terentang antara  $0,1 < Re < 1$ . Aliran *creep* dan aplikasinya ditemukan didalam bidang-bidang teknik seperti pada pelumasan, *injection moulding*, dan aliran melalui media berpori.

## 2.2 Terminal Velocity

Setelah terbentuk, gelembung akan bergerak dan berakselerasi hingga mencapai *terminal velocity*-nya. Besarnya nilai *terminal velocity* merupakan keseimbangan antara *buoyant force* dan *drag force*. Hadamard-Rybczynski merumuskan *terminal velocity* didalam aliran *creep* sebagai berikut<sup>[3]</sup> :

$$U_T = \frac{2}{3} \frac{g \cdot r^2 \cdot \Delta\rho}{\mu} \left( \frac{1 + \kappa}{2 + 3\kappa} \right) \quad (3)$$

dimana :

- $U_T$  = *terminal velocity*
- $g$  = gravitasi
- $r$  = jari-jari gelembung
- $\mu$  = kekentalan medium (fase kontinu)
- $\Delta\rho$  = selisih massa jenis antara gelembung dan fase kontinunya.
- $\kappa$  = perbandingan kekentalan ( $\mu_p/\mu$ )

## 2.2. Wall Effect

*Wall effect* atau pengaruh dinding pembatas terhadap gelembung atau drop berbeda-beda sesuai dengan nilai perbandingan antara diameter gelembung dan diameter pembatas ( $\lambda = d/D$ ). Clift<sup>[3]</sup> membagi analisa ini kedalam dua bagian, yaitu:

- $\lambda \leq 0,6$   
Pada gelembung atau drop yang termasuk kategori ini, pengaruh dinding pembatas terhadap gelembung sangat kecil. Analisa terhadap jenis ini menyerupai gelembung atau drop yang bergerak di media tak terbatas (*infinite medium*).
- $\lambda > 0,6$   
Sementara gelembung atau drop yang termasuk kategori ini, dinding pembatas memiliki pengaruh yang dominan terhadap bentuk dan kecepatan gelembung atau drop.

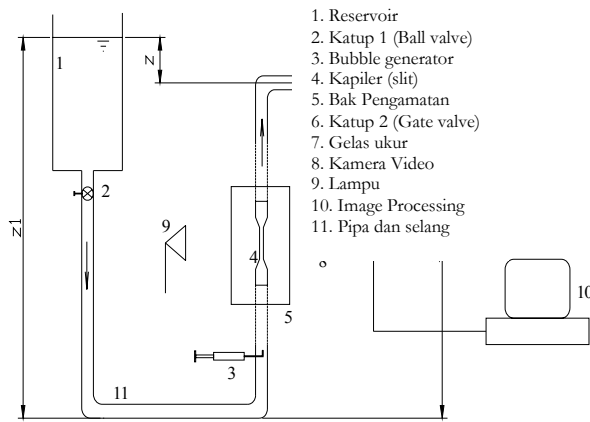
## 3. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk meneliti perilaku gelembung didalam aliran *creep*, gelembung dialirkan didalam fase kontinu, berdebit konstan, melalui sebuah slit. Sebuah slit berbentuk pipa dengan diameter dalam 4 mm, dengan posisi vertical digunakan untuk mengamati gelembung yang terdiri dari berbagai macam ukuran. Gelembung dihasilkan dengan menginjeksikan udara kedalam aliran, kemudian dengan gaya apung (*buoyant force*) gelembung akan bergerak naik dan mengalir didalam slit. Perilaku-perilaku gelembung yang terjadi di daerah sebelum, saat dan setelah slit, diamati dan direkam menggunakan video kamera.

Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data yang didapatkan dari beberapa jenis percobaan, yang terdiri dari :

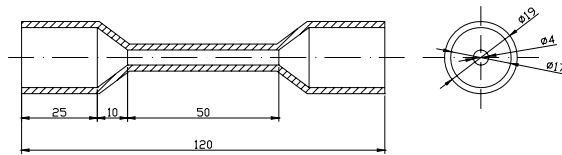
1. Untuk mengetahui pengaruh kecepatan aliran ( $v$ ), pengujian dilakukan dalam dua kondisi yang berbeda, aliran diam ( $Q = 0$ ) dan aliran *creep* ( $Q \neq 0$ ).
2. Untuk mengetahui pengaruh dinding (*wall effect*) dan diameter gelembung ( $D$ ), pengujian dilakukan dengan diameter gelembung yang berbeda.

Peralatan yang digunakan didalam penelitian ini terdiri dari reservoir, test cell berbahan *acrylic*, bak pengamatan, katup, bubble generator (jarum), gelas ukur dan kamera video. Seluruh peralatan tersebut, kecuali gelas ukur dan kamera video, dirangkaikan dengan pipa dan selang menjadi sebuah *water loop* terbuka, seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Rangkaian Alat Uji

Bagian terpenting dari alat uji ini adalah *test cell* yang terbuat dari *acrylic*. Melalui *test cell* pengamatan terhadap gelembung dilakukan. *Test cell* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah pipa dengan diameter dalam 4 mm dan panjang 120mm, yang terangkakan dengan *connector* (kontraksi dan ekspansi) seperti pada Gambar 2. Penggunaan *connector* bertujuan untuk menyeragamkan aliran didalam test cell, serta menghilangkan *dead zone* seperti yang timbul pada rangkaian yang berubah secara tiba-tiba (*sudden contraction*).



Gambar 2 Test Cell

#### 4. PENGUMPULAN & PENGOLAHAN DATA

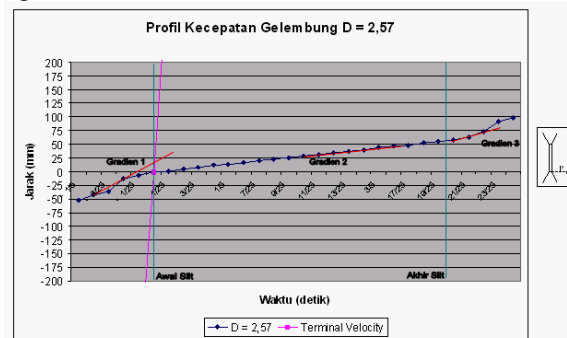
Data didapatkan melalui penggunaan kamera video dan program pengolah gambar. Data mentah berupa video kemudian diolah menggunakan *software* Ulead VideoStudio 9 dan ImageJ<sup>[5,6,7]</sup>, sehingga didapatkan data akhir berupa data kuantitatif yang terdiri dari kecepatan gelembung pada saat sebelum masuk slit, kecepatan gelembung didalam slit, gerakan gelembung sebelum, didalam dan setelah slit. Kondisi lingkungan pada saat pengambilan data dicatat sebagai data sekunder untuk digunakan pada penelitian yang akan datang. Data-data lingkungan tercatat pada Tabel 1 dibawah ini.

**Tabel 1 Pengumpulan Data**

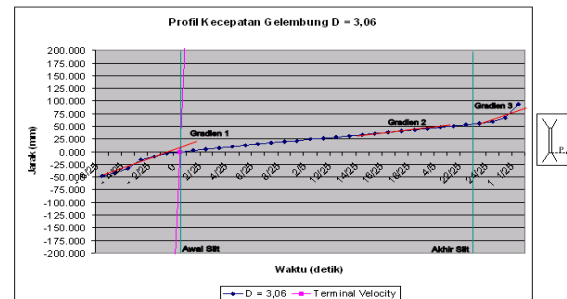
Nozzle	Tanggal	Suhu	Debit (Q)	Waktu
Pink Transparan (D = 2.57 mm)	1 juni 06	T <sub>w</sub> : 30	0	15.15-
		T <sub>x</sub> : 31		15.25
	1 juni 06	T <sub>w</sub> : 30	1,4 ml/10mnt	18.05-
		T <sub>x</sub> : 30		18.15
Hijau Transparan (D = 3,06 mm)	2 juni 06	T <sub>w</sub> : 29	1 ml/10mnt	13.40-
		T <sub>x</sub> : 31,5		13.55
	2 juni 06	T <sub>w</sub> : 29	0	14.10-
		T <sub>x</sub> : 31.5		14.20
Selang Infus (D = 3,92 mm)	1 juni 06	T <sub>w</sub> : 30	1,6 ml/10mnt	21.00-
		T <sub>x</sub> : 30		21.20
	2 juni 06	T <sub>w</sub> : 28	0	11.15-
		T <sub>x</sub> : 31		11.30

#### 5. HASIL DAN ANALISA

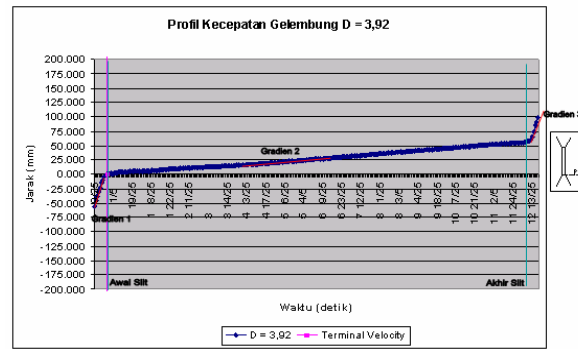
##### 5.1 Profil Kecepatan Gelembung



(a)



(b)

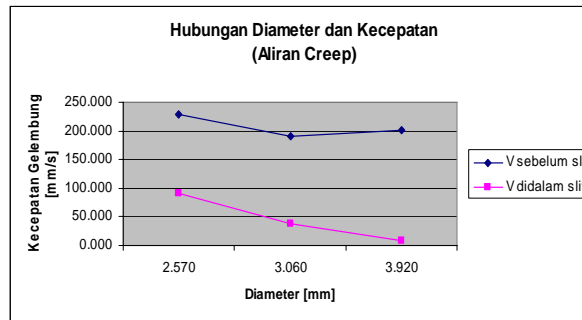


(c)

**Gambar 3 Perbandingan Profil Kecepatan**

Gambar 3 diatas menunjukkan perbedaan lamanya waktu untuk setiap besar diameter gelembung bergerak melewati *test cell*. Untuk gelembung  $D = 2,57$ , diperlukan 30 frame untuk gelembung bergerak melalui slit. Gelembung  $D = 3,06$  memerlukan 33 frame untuk melewati slit. Sementara diperlukan lebih dari 110 frame untuk gelembung  $D = 3,92$  bergerak melalui slit. Dengan interval waktu antar frame masing-masing  $1/25$  detik (25 fps).

## 5.2 Perbandingan Kecepatan



**Gambar 4 Hubungan Diameter dan Kecepatan**

Gambar 4 diatas menunjukkan bahwa kecepatan gelembung lebih kecil ketika gelembung berada didalam slit. Hal ini terjadi pada semua gelembung yang diamati pada penelitian ini. Menurunnya kecepatan gelembung ini disebabkan adanya pengaruh dinding (*wall effect*) terhadap bentuk dan kecepatan gelembung.

## 5.3 Perubahan Bentuk Gelembung

Ketiga bentuk gelembung dengan diameter  $D=2,57$ ,  $D=3,06$  dan  $D=3,92$ , tidak teramati perubahannya ketika memasuki slit. Ketiga buah gelembung tersebut tetap memiliki bentuk yang relatif sama dengan bentuk gelembung sebelum masuk kedalam slit.

## 5.4 Wall effect

*Wall effect* yang dialami oleh gelembung ketika berada didalam slit dapat dijelaskan sebagai berikut : Ketika gelembung bergerak konstan didalam slit, terjadi keseimbangan gaya pada gelembung, sesuai dengan rumus, (lihat Gambar 5)

$$F_B + F_Q = W + F_D + F_W \quad (4)$$

Maka besarnya gaya tahan yang diakibatkan oleh dinding ( $F_W$ ) adalah

$$F_W = (F_B + F_Q) - (W + F_D) \quad (5)$$

atau

$$F_W = (\rho_{air} \cdot g \cdot V_{gelembung}) + (m_{air} \cdot v_{air}) - (m_{gelembung} \cdot g) - (6 \pi \cdot v_{air} \cdot v_{gelembung} \cdot R) \quad (6)$$

Untuk nilai-nilai karakteristik aliran yang sama, maka  $F_W$  dipengaruhi oleh  $V_{gelembung}$ ,  $m_{gelembung}$ ,  $v_{gelembung}$ , dan  $r_{gelembung}$ .

$$F_W \approx \rho_{air} \cdot R^3 - \rho_{gelembung} \cdot R^3 - v \cdot R \quad (7)$$

$$F_W \approx R (R^2 \cdot \rho_{air} - R^2 \cdot \rho - v) \quad (8)$$

Sehingga besarnya  $F_W$  merupakan sebuah fungsi dari  $R_{\text{gelembung}}$ .

$$F_W = f(R_{\text{gelembung}}) \quad (9)$$

$$F_B = \rho_{\text{air}} \cdot g \cdot V_{\text{gelembung}} \quad (\text{gaya apung})$$

$$F_Q = m_{\text{air}} \cdot v_{\text{air}} \quad (\text{gaya aliran})$$

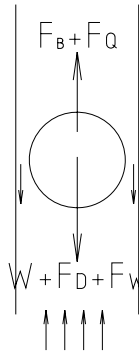
$$W = m_{\text{gelembung}} \cdot g \quad (\text{gaya berat})$$

$$F_D = 6 \pi \cdot v_{\text{air}} \cdot \nu_{\text{gelembung}} \cdot R \quad (\text{gaya seret, sesuai dengan Hk Stokes})$$

$$F_W \quad (\text{gaya akibat wall effect})$$

Jika  $R$  (jari-jari gelembung) besar maka  $F_W$  (gaya akibat dinding) juga besar, dan kecepatan menjadi kecil. dimana :

- $\rho$  = massa jenis
- $g$  = gravitasi
- $\nu$  = kekentalan kinematis
- $v$  = kecepatan
- $m$  = massa
- $V$  = volume
- $m$  = laju aliran massa
- $r$  = radius (jari-jari)



Gambar 5 Skema pergerakan gelembung pada slit

## 6. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa gelembung pada aliran *creep* telah dapat divisualisasikan untuk diteliti. Perilaku gelembung pada aliran *creep* berbeda-beda sesuai dengan diameter gelembung. Secara umum didapatkan bahwa kecepatan gelembung akan berkurang ketika gelembung memasuki slit. Hal ini disebabkan oleh *wall effect* yang ditimbulkan oleh dinding slit, seperti yang dikemukakan oleh Clift<sup>[3]</sup>. Dinding pembatas sangat berpengaruh terhadap kecepatan dan gerak gelembung.

Perubahan bentuk gelembung tidak teramati. Penyebab hal ini adalah diameter gelembung yang tidak cukup besar untuk terjadinya perubahan bentuk.

## REFERENSI

- [1] Ristanto, Sugeng Harianto, **Pembentukan Gelembung Tunggal dengan Menggunakan Nossel. Pengaruh Diameter Nossel dan Debit Terhadap Diameter Gelembung dan Analisa Lintasan Gelembung**, ST. Skripsi, Universitas Indonesia, (2004).
- [2] Byron Percy Blacmore, **Detachment of Air Bubbles from Slit Microchannels with Shearing Flow**, MSc., Thesis, University of Alberta, (2000).
- [3] R. Clift, J. R. Grace, M. E. Weber, **Bubbles, Drops, and Particles**. London: Academic Press, Inc., (1978).
- [4] Philip M. Gerhart, Richard J. Gross, **Fundamental of Fluid Mechanics**, Ontario; Addison-Wesley Publishing Company, Inc., (1985).

- [5] William B. Green, **Digital Image Processing, A System Approach**, New York: Van Nostrand Reinhold Company, (1983).
- [6] Architrandi, **Analisa Citra Gelembung di Sekitar Daerah Nukleat Didih Kolam Air-Tembaga dengan Bantuan Multimedia**, ST. Skripsi, Universitas Indonesia, (1996).
- [7] Gregory A. Baxes, **Digital Image Processing, A Practical Primer**, New Jersey: Prentice Hall, Inc., (1984).