

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Hasil pengujian dan pengambilan data dalam penelitian aliran dua fasa pipa vertikal dengan air J_L dan udara J_G searah ke atas, diperoleh data yang kemudian dilakukan pengolahan atau perhitungan untuk mendapatkan pola aliran dalam pipa vertikal. Uji coba diawali dari kecepatan air J_L $1,67 \times 10^{-3}$ m/s sampai 5×10^{-3} m/s, serta kecepatan udara diawali dari J_G $1,67 \times 10^{-3}$ m/s sampai $8,33 \times 10^{-3}$ m/s. Dari lima belas variasi yang di uji coba diperoleh perbandingan terhadap terjadinya fenomena-fenomena dari masing-masing variasi seperti aliran gelembung (*bubble flow*) dan aliran kantung udara (*slug flow*).

Tabel 4.1. Variasi J_G Terhadap J_L $1,67 \times 10^{-3}$ m/s

J_L (m/s)	J_G (m/s)
$1,67 \times 10^{-3}$	$1,67 \times 10^{-3}$
$1,67 \times 10^{-3}$	$3,34 \times 10^{-3}$
$1,67 \times 10^{-3}$	5×10^{-3}
$1,67 \times 10^{-3}$	$6,67 \times 10^{-3}$
$1,67 \times 10^{-3}$	$8,33 \times 10^{-3}$

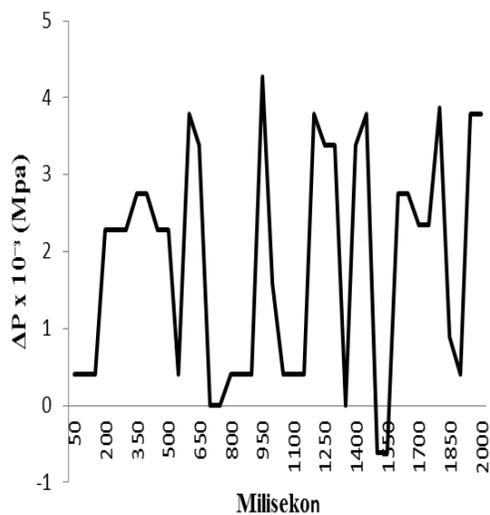
Tabel 4.2. Variasi J_G Terhadap J_L $3,34 \times 10^{-3}$ m/s

J_L (m/s)	J_G (m/s)
$3,34 \times 10^{-3}$	$1,67 \times 10^{-3}$
$3,34 \times 10^{-3}$	$3,34 \times 10^{-3}$
$3,34 \times 10^{-3}$	5×10^{-3}
$3,34 \times 10^{-3}$	$6,67 \times 10^{-3}$
$3,34 \times 10^{-3}$	$8,33 \times 10^{-3}$

Tabel 4.3. Variasi J_G Terhadap J_L 5×10^{-3} m/s

J_L (m/s)	J_G (m/s)
5×10^{-3}	$1,67 \times 10^{-3}$
5×10^{-3}	$3,34 \times 10^{-3}$
5×10^{-3}	5×10^{-3}
5×10^{-3}	$6,67 \times 10^{-3}$
5×10^{-3}	$8,33 \times 10^{-3}$

Berikut ini akan menampilkan visualisasi pola aliran pipa vertikal searah ke atas serta grafik hubungan antara ΔP dengan waktu (milisekon) pada percobaan masing-masing variasi.

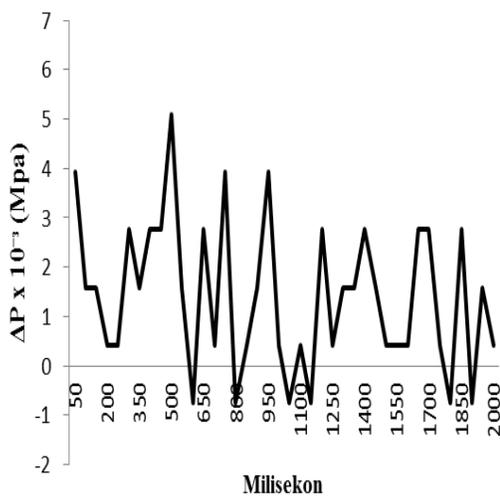


Gambar 4.1 Grafik hubungan antara Δp (Mpa) dengan waktu (milisekon) pada $J_L = 1,67 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 1,67 \times 10^{-3}$ m/s



Gambar 4.2 Pola aliran pada $J_L = 1,67 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 1,67 \times 10^{-3}$ m/s

Pada percobaan awal kondisi air di alirkan dengan kecepatan (J_L) ($1,67 \times 10^{-3}$ m/s) dan udara di alirkan dengan kecepatan (J_G) ($1,67 \times 10^{-3}$ m/s). Percobaan aliran 1 ini pola lirannya membentuk gelembung (*bubbly*), dimana berlaku sebagai fase liquid pada dinding film seperti pada gambar 4.1 dan gambar 4.2.

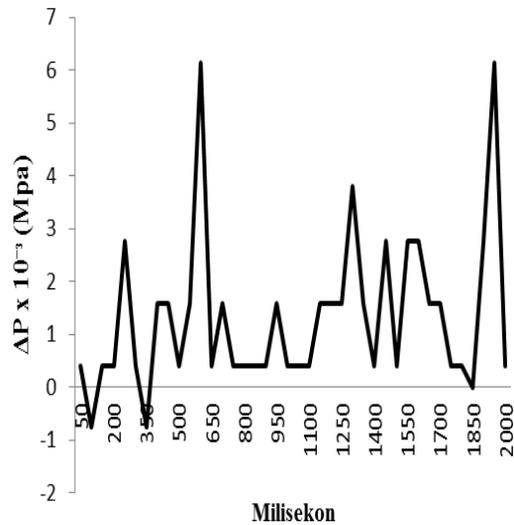


Gambar 4.3 Grafik hubungan antara Δp (Mpa) dengan waktu (milisekon) pada $J_L = 1,67 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 3,34 \times 10^{-3}$ m/s



Gambar 4.4 Pola aliran pada $J_L = 1,67 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 3,34 \times 10^{-3}$ m/s

Air di alirkan dengan kecepatan (J_L) ($1,67 \times 10^{-3}$ m/s) dan udara di alirkan dengan kecepatan (J_G) ($3,34 \times 10^{-3}$ m/s). Percobaan aliran 2 ini masih membentuk aliran gelembung (*bubbly*) hanya saja bentuk gelembungnya lebih besar di sebabkan saling menyatunya gelembung satu dengan yang lainnya seperti pada gambar 4.3 dan gambar 4.4.

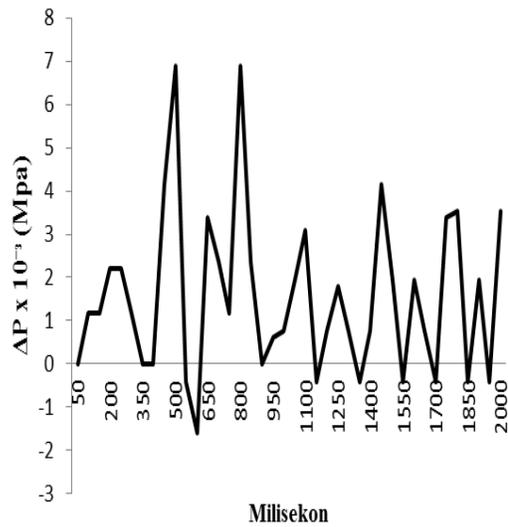


Gambar 4.5 Grafik hubungan antara Δp (Mpa) dengan waktu (milisekon) pada $J_L = 1,67 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 5 \times 10^{-3}$ m/s



Gambar 4.6 Pola aliran pada $J_L = 1,67 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 5 \times 10^{-3}$ m/s

Air di alirkan dengan kecepatan (J_L) ($1,67 \times 10^{-3}$ m/s) dan udara di alirkan dengan kecepatan (J_G) (5×10^{-3} m/s). Percobaan aliran 3 ini membentuk aliran kantung (*slug*) dan sebagian lagi berupa tetesan yang terdistribusi dalam gas yang mengalir pada bagian tengah pipa seperti pada gambar 4.5 dan gambar 4.6.

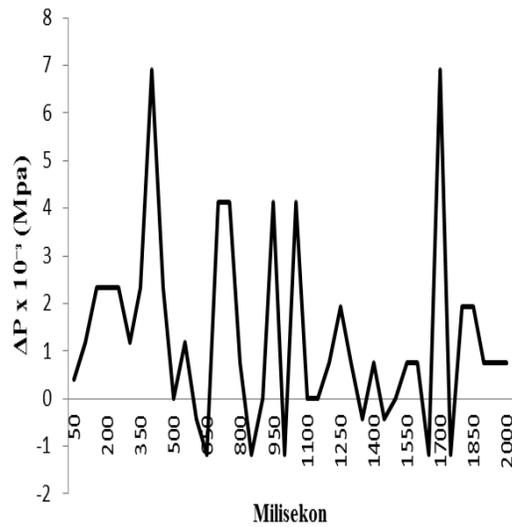


Gambar 4.7 Grafik hubungan antara Δp (Mpa) dengan waktu (milisekon) pada $J_L = 1,67 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 6,67 \times 10^{-3}$ m/s



Gambar 4.8 Pola aliran pada $J_L = 1,67 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 6,67 \times 10^{-3}$ m/s

Air di alirkan dengan kecepatan (J_L) ($1,67 \times 10^{-3}$ m/s) dan udara di alirkan dengan kecepatan (J_G) ($6,67 \times 10^{-3}$ m/s). Percobaan aliran 4 ini membentuk aliran kantung (*slug*) dan sebagian lagi berupa tetesan yang terdistribusi dalam gas yang mengalir pada bagian tengah pipa seperti pada gambar 4.7 dan gambar 4.8.

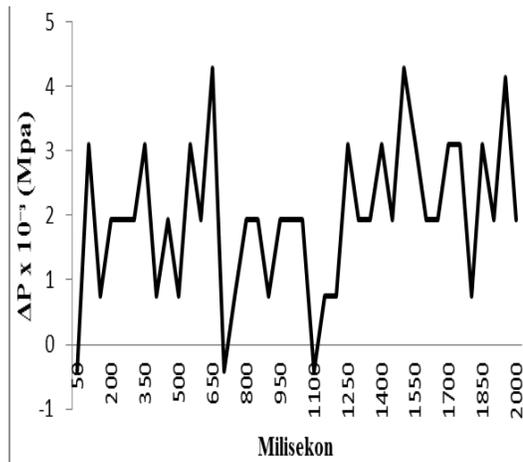


Gambar 4.9 Grafik hubungan antara Δp (Mpa) dengan waktu (milisekon) pada $J_L = 1,67 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 8,33 \times 10^{-3}$ m/s



Gambar 4.10 Pola aliran pada $J_L = 1,67 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 8,33 \times 10^{-3}$ m/s

Air di alirkan dengan kecepatan (J_L) ($1,67 \times 10^{-3}$ m/s) dan udara di alirkan dengan kecepatan (J_G) ($8,33 \times 10^{-3}$ m/s). Percobaan aliran 5 ini membentuk aliran kantung (*slug*), dimana aliran kantung ini sedikit lebih besar dari percobaan 4 dan sebagian lagi berupa tetesan yang terdistribusi dalam gas yang mengalir pada bagian tengah pipa seperti pada gambar 4.9 dan gambar 4.10.

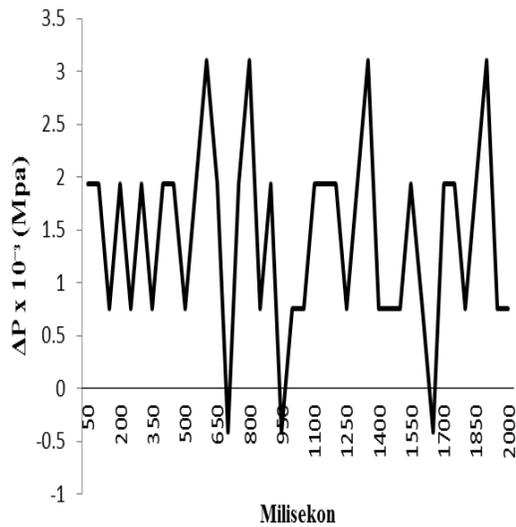


Gambar 4.11. Grafik hubungan antara Δp (Mpa) dengan waktu (milisekon) pada $J_L = 3,34 \times 10^{-3}$ s dan $J_G = 1,67 \times 10^{-3}$ m/s



Gambar 4.12. Pola aliran pada $J_L = 3,34 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 1,67 \times 10^{-3}$ m/s

Air di alirkan dengan kecepatan (J_L) ($3,34 \times 10^{-3}$ m/s) dan udara di alirkan dengan kecepatan (J_G) ($1,67 \times 10^{-3}$ m/s). Percobaan aliran 6 ini membentuk aliran gelembung (*bubble*), dimana laju cairan lebih dominan dibandingkan laju udara seperti pada gambar 4.11 dan gambar 4.12.

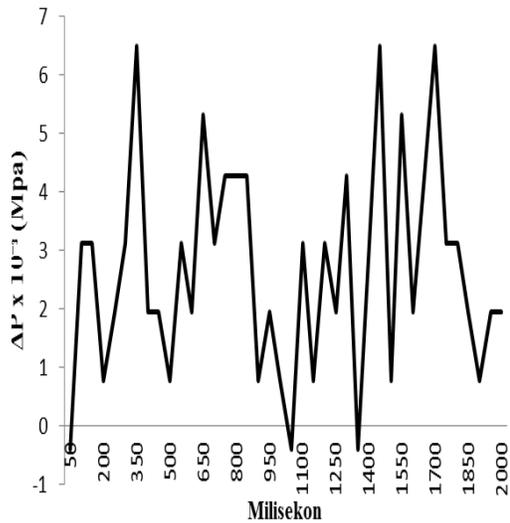


Gambar 4.13. Grafik hubungan antara Δp (Mpa) dengan waktu (milisekon) pada $J_L = 3,34 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 3,34 \times 10^{-3}$ m/s



Gambar 4.14. Pola aliran pada $J_L = 3,34 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 3,34 \times 10^{-3}$ m/s

Air di alirkan dengan kecepatan (J_L) ($3,34 \times 10^{-3}$ m/s) dan udara di alirkan dengan kecepatan (J_G) ($3,34 \times 10^{-3}$ m/s). Percobaan aliran 7 ini masih membentuk aliran gelembung (*bubbly*), hanya saja bentuk aliran gelembung ini lebih besar dan stabil seperti pada gambar 4.13 dan gambar 4.14.

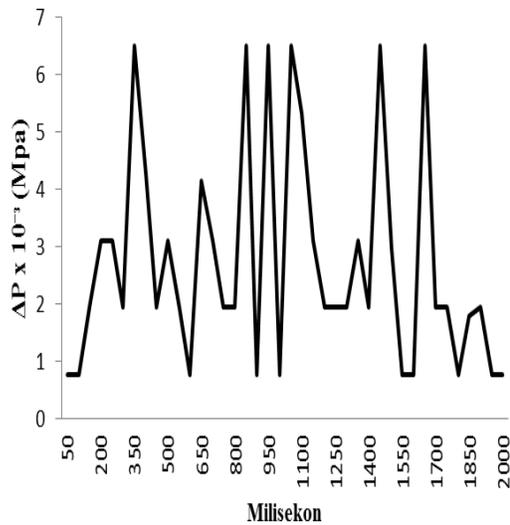


Gambar 4.15. Grafik hubungan antara Δp (Mpa) dengan waktu (milisekon) pada $J_L = 3,34 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 5 \times 10^{-3}$ m/s



Gambar 4.16. Pola aliran pada $J_L = 3,34 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 5 \times 10^{-3}$ m/s

Air di alirkan dengan kecepatan (J_L) ($3,34 \times 10^{-3}$ m/s) dan udara di alirkan dengan kecepatan (J_G) (5×10^{-3} m/s). Percobaan aliran 8 ini membentuk aliran kantung (*slug*), hanya saja bentuk kantungnya yang sedikit lebih panjang disertai dengan tetsan kecil pada bagian tengah pipa seperti pada gambar 4.15 dan gambar 4.16.

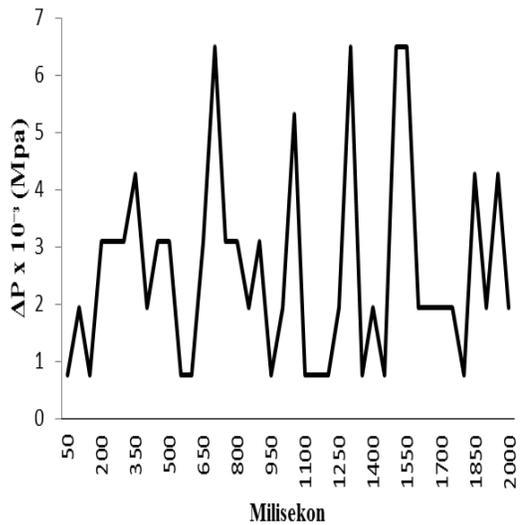


Gambar 4.17. Grafik hubungan antara Δp (Mpa) dengan waktu (milisekon) pada $J_L = 3,34 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 6,67 \times 10^{-3}$ m/s



Gambar 4.18. Pola aliran pada $J_L = 3,34 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 6,67 \times 10^{-3}$ m/s

Air di alirkan dengan kecepatan (J_L) ($3,34 \times 10^{-3}$ m/s) dan udara di alirkan dengan kecepatan (J_G) ($6,67 \times 10^{-3}$ m/s). Percobaan aliran 9 ini membentuk aliran kantung (*slug*) terdistribusi tetesan-tetesan kecil pada bagian dalam pipa serta bentuk kantung yang sama besar seperti pada gambar 4.17 dan gambar 4.18.

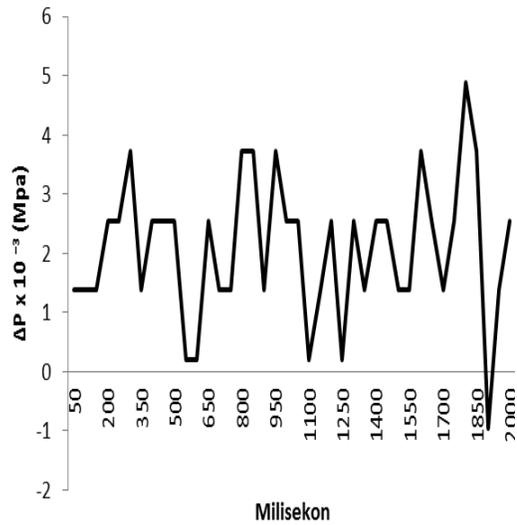


Gambar 4.19. Grafik hubungan antara Δp (Mpa) dengan waktu (milisekon) pada $J_L = 3,34 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 8,33 \times 10^{-3}$ m/s



Gambar 4.20. Pola aliran pada $J_L = 3,34 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 8,33 \times 10^{-3}$ m/s

Air di alirkan dengan kecepatan (J_L) ($3,34 \times 10^{-3}$ m/s) dan udara di alirkan dengan kecepatan (J_G) ($8,33 \times 10^{-3}$ m/s). Percobaan aliran 10 ini membentuk aliran kantung (slug) yang hampir sama dengan percobaan 9, hanya saja pada percobaan 10 ini aliran kantung yang saling menyatu dengan aliran kantung lainnya seperti pada gambar 4.19 dan gambar 4.20.

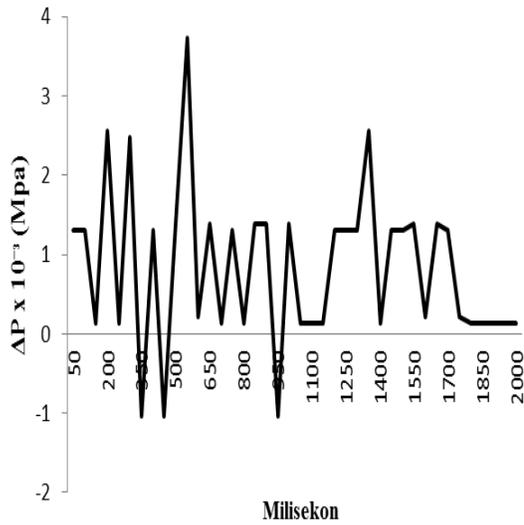


Gambar 4.21. Grafik hubungan antara Δp (Mpa) dengan waktu (milisekon) pada $J_L = 5 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 1,67 \times 10^{-3}$ m/s



Gambar 4.22. Pola aliran pada $J_L = 5 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 1,67 \times 10^{-3}$ m/s

Air di alirkan dengan kecepatan (J_L) (5×10^{-3} m/s) dan udara di alirkan dengan kecepatan (J_G) ($1,67 \times 10^{-3}$ m/s). Percobaan aliran 11 ini membentuk aliran gelembung (*bubble*), dimana laju cairan lebih terdistribusi dibanding dengan laju udara seperti pada gambar 4.21 dan gambar 4.22.

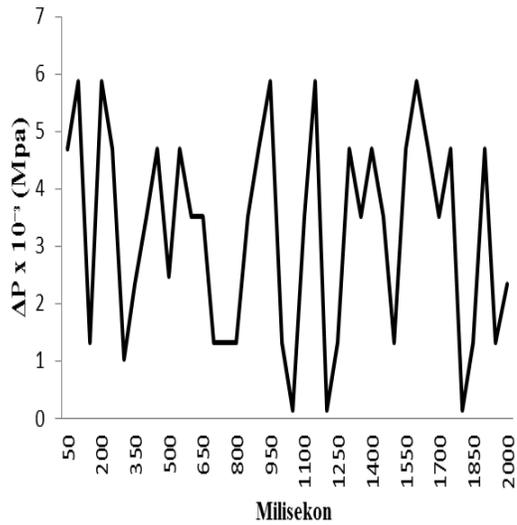


Gambar 4.23. Grafik hubungan antara Δp (Mpa) dengan waktu (milisekon) pada $J_L = 5 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 3,34 \times 10^{-3}$ m/s



Gambar 4.24. Pola aliran pada $J_L = 5 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 3,34 \times 10^{-3}$ m/s

Air di alirkan dengan kecepatan (J_L) (5×10^{-3} m/s) dan udara di alirkan dengan kecepatan (J_G) ($1,67 \times 10^{-3}$ m/s). Percobaan aliran 12 ini masih membentuk aliran gelembung (*bubbly*) dan kadang-kadang aliran gelembung satu dengan yang lainnya saling menyatu seperti pada gambar 2.23 dan gambar 2.24.

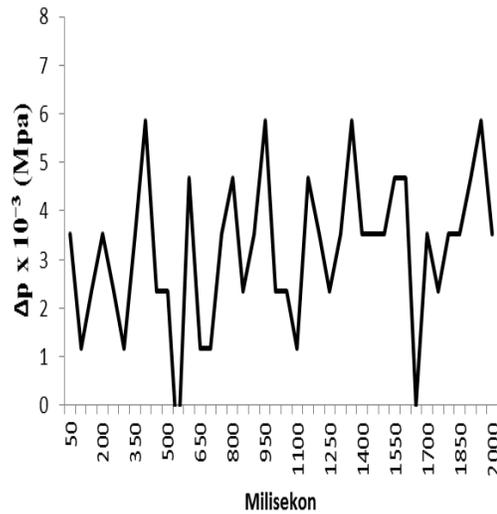


Gambar 4.25. Grafik hubungan antara Δp (Mpa) dengan waktu (milisekon) pada $J_L = 5 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 5 \times 10^{-3}$ m/s



Gambar 4.26. Pola aliran pada $J_L = 5 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 5 \times 10^{-3}$ m/s

Air di alirkan dengan kecepatan (J_L) (5×10^{-3} m/s) dan udara di alirkan dengan kecepatan (J_G) (5×10^{-3} m/s). Percobaan aliran 13 ini membentuk aliran kantung (*slug*), bentuk kantung yang keluar pada percobaan 13 lebih stabil dan terdapat tetesan-tetesan kecil pada bagian dalam pipa seperti pada gambar 2.25 dan gambar 2.26.

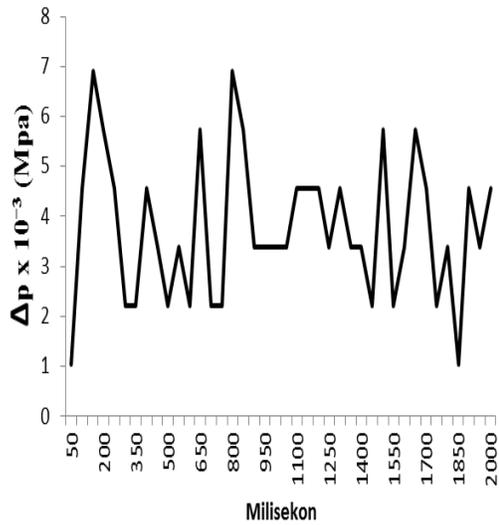


Gambar 4.27. Grafik hubungan antara Δp (Mpa) dengan waktu (milisekon) pada $J_L = 5 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 6,67 \times 10^{-3}$ m/s



Gambar 4.28. Pola aliran pada $J_L = 5 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 6,67 \times 10^{-3}$ m/s

Air di alirkan dengan kecepatan (J_L) (5×10^{-3} m/s) dan udara di alirkan dengan kecepatan (J_G) ($6,67 \times 10^{-3}$ m/s). Percobaan aliran 14 ini membentuk aliran kantung (*slug*), sama dengan percobaan 13 aliran yang keluar pun sebanding dengan kenaikan perbandingan kecepatan aktual udara seperti pada gambar 2.27 dan gambar 2.28



Gambar 4.29. Grafik hubungan antara Δp (Mpa) dengan waktu (milisekon) pada $J_L = 5 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 8,33 \times 10^{-3}$ m/s



Gambar 4.30. Pola aliran pada $J_L = 5 \times 10^{-3}$ m/s dan $J_G = 8,33 \times 10^{-3}$ m/s

Air di alirkan dengan kecepatan (J_L) (5×10^{-3} m/s) dan udara di alirkan dengan kecepatan (J_G) ($8,33 \times 10^{-3}$ m/s). Percobaan aliran 15 ini membentuk aliran kantung (*slug*), hanya saja bentuk kantungnya lebih besar dari percobaan 14, ini adalah hasil maksimal dari beberapa percobaan seperti pada gambar 2.29 dan gambar 2.30.

4.2 Pembahasan

Dalam uji coba kecepatan air J_L $1,67 \times 10^{-3}$ m/s, variasi 1 dan 2 polanya memiliki bentuk aliran yang sama yaitu aliran gelembung (*bubbly*), hanya saja kecepatan aliran udaranya yang berbeda, serta terdapat tetesan-tetesan yang terdistribusi dalam gas yang mengalir pada bagian tengah pipa. Pada variasi 3, 4, dan 5 polanya membentuk aliran kantung (*slug*), dimana fase gas atau uap disebarkan sebagai gelembung yang mempunyai ciri tersendiri dalam fase cairan secara kontinu dan gas/uap yang mengalir membentuk gelembung besar (kadang-kadang gelembung kecil terdistribusi cairan).

Kecepatan air dinaikan menjadi J_L $3,34 \times 10^{-3}$ m/s, variasi 6 ini polanya membentuk aliran gelembung (*bubble*), dimana sebagai fase liquid berlaku sebagai film di dinding pipa dan sebagian lagi berupa tetesan yang terdistribusi dalam gas yang mengalir pada bagian tengah pipa vertikal. Pada variasi 7, 8, 9, dan 10 polanya sama-sama membentuk aliran kantung (*slug*) yang diikuti dengan tetesan-tetesan kecil pada bagian dalam pipa.

Kecepatan air dinaikan menjadi $J_L = 5 \times 10^{-3}$ m/s, pada variasi 11 dan 12 menunjukkan bahwa pola aliran yang terjadi adalah gelembung (*bubble*) dan gelembung kecil di pusat aliran bergerak dengan kecepatan yang sama seperti gelembung besar. Pada variasi aliran 13, 14, dan 15 diperoleh aliran kantung (*slug*) struktur model aliran kantung udara sangat kompleks, aliran kantung udara ditandai oleh bentuk gelembung gas yang relatif berukuran besar dan hampir memenuhi penampang saluran aliran.

Hubungan grafik antara ΔP dengan visualisasi pola aliran yang terjadi pada pipa transparan. Jika amplitudo A_o pada grafik ΔP menunjukkan skala 0 – 3 m maka pola aliran yang terjadi adalah gelembung (*bubbly*) karena laju aliran air terdistribusi lebih tinggi di banding udara dan jika amplitudo A_o pada grafik ΔP menunjukkan skala 0 – 3,5 m maka pola aliran yang terjadi adalah kantung (*slug*) karena laju aliran udara terdistribusi lebih tinggi dari air.