

KARAKTERISASI ALIRAN FLUIDA GAS-CAIR MELALUI PIPA SUDDEN CONTRACTION

Khairul Muhajir

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri
Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta
Jl. Kalisahak No. 28 Balapan Yogyakarta 55222

ABSTRACT

There are many difficulties of form and space efficiency in the instrument design with valve, elbow, sudden enlargement, sudden contraction and the other pipe fluid flows causing the losses and oversize if the fluid flow consist of multicomponent. This study aims to discover one phase stream line visualization flow pattern of water and two phase fluid flows with air-water, and then pressure distribution discription

The study was conducted using air-water flow at room temperature (27° C – 30° C). Air flow rates have four variations of sudden contraction pipe of : 1,5 : 1, 2 : 1 dan 2,5 : 1 and water flow rates have five variations with experimental study. The study results indicated that on the stream lines visualization in a good condition in 1.5 : 1 of sudden contraction pipe with the long of circulation zones and the height of (H) as the Re function, at $G_1 = 4.733 \text{ kg/m}^2\text{sec}$ until $G_1 = 13.253 \text{ kg/m}^2\text{sec}$ the flux of mass with X_1/H continue at 20.7, 20, 11.02, 7.87, 3.14, while at the ratio of 2:1 and 2.5 : 1 the Re relation to X_1/H are out of sight because of section test limited.

The Flow patterns visualization of two phase flow at supervision velocity of $J_g = 0.048 \text{ m/s}$, $J_l = 0.622 \text{ m/s}$ occurred are plug flow, and stratified wave flow at $J_g = 0.065 \text{ m/s}$, $J_l = 0.622 \text{ m/s}$ and slug flow at $J_g = 0.065 \text{ m/s}$, $J_l = 0.622 \text{ m/s}$.

The result of gauge and computing the pressure distribution throught tube axis shown that the pressure gradient increase with increasing the mass flux of (G) and the cuality of (x). The Pressure distribution at the assumption of homogen flow bigger than separation flow assumption as using Chisholm theory.

Key words : carracterization, liquid-gas, sudden contraction.

INTISARI

Efisiensi tempat dan bentuk, di dalam perancangan peralatan yang melibatkan aliran fluida, keadaan saluran berbelok, pengecilan, perbesaran, katup dan sejenisnya menjadi hal yang terkadang sulit dihindarkan sekalipun menimbulkan kerugian, terlebih jika fluida yang mengalir terdiri dari beberapa komponen.

Penelitian bertujuan membuat visualisasi garis arus aliran satu fase air dan pola aliran dua fase air-udara, selanjutnya mendiskripsikan distribusi tekanan dan penurunan tekanan aliran satu fase air, maupun aliran dua fase air-udara melewati pengecilan pipa bulat dengan perbandingan sisi masuk dan keluar masing-masing 1,5 : 1, 2 : 1 dan 2,5 : 1 dengan metode eksperimen.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa visualisasi garis arus tampak bagus pada pengecilan 1,5 : 1 dengan panjang daerah pusaran X_1 (cyrculation zones) dan perbesaran (H) merupakan fungsi dari Re, pada fluks massa $G_1 = 4,733 \text{ kg/m}^2\text{det}$ sampai $G_1 = 13,253 \text{ kg/m}^2\text{det}$ dengan X_1/H berturut-turut 20.7, 20, 11.02, 7.87, 3.14, sedang pada rasio 2:1 dan 2.5 : 1 hubungan Re terhadap X_1 dan H sulit untuk diamati karena keterbatasan seksi uji.

Hasil visualisasi pola aliran dua fase pada kecepatan supervisial $J_g = 0.016 \text{ m/s}$, $J_l = 0,622 \text{ m/s}$ membentuk pola aliran bubble, pada $J_g = 0,048 \text{ m/s}$, $J_l = 0,622 \text{ m/s}$ membentuk pola aliran kantong, pada $J_g = 0,048 \text{ m/s}$, $J_l = 0,622 \text{ m/s}$ membentuk pola aliran strata gelombang dan pada $J_g = 0,065 \text{ m/s}$, $J_l = 0,622 \text{ m/s}$ membentuk pola aliran sumbat liquid. Hasil pengukuran dan perhitungan distribusi tekanan sepanjang sumbu saluran memperlihatkan bahwa penurunan tekanan meningkat dengan kenaikan fluks massa (G) dan kualitas (x). Penurunan tekanan pada assumsi aliran homogen lebih besar dibanding dengan assumsi aliran terpisah menggunakan teori Chisholm.

Kata Kunci : Karakterisasi, gas-cair, pengecilan mendadak.

PENDAHULUAN

Pada aliran satu fase, data tentang penurunan tekanan pada kontraksi dan pembesaran saluran telah banyak terdapat dalam pustaka, bahkan sudah ditabelkan untuk berbagai harga koefisien kontraksi. Namun pada aliran dua-fase, karena permasalahannya lebih kompleks, datanya masih terbatas dan model-model teori untuk menghitung penurunan tekanan seringkali berhasil baik hanya pada kasus-kasus tertentu.

Pada saat fluida melewati pipa mengecil mendadak horisontal, maka akan terjadi perbedaan kecepatan aliran pada lapis sumbu bagian dalam dengan kecepatan aliran pada lapis batas bagian luar, sehingga akan terjadi perbedaan tekanan aliran pada pengecilan tersebut. Adanya perbedaan tekanan aliran tersebut, maka lapis batas bagian luar akan mengalami tekanan yang lebih besar jika dibandingkan dengan bagian dalam pengecilan pipa.

Dengan banyaknya penggunaan pengecilan pipa pipa, menimbulkan berbagai kerugian aliran fluida baik gesekan, bentuk, kecepatan dan energi serta terbentuknya sedimentasi, serta turbulensi aliran, sehingga sedapat mungkin dihindari.

Perumusan Masalah:

1. Bagaimana Distribusi tekanan aliran yang terjadi
2. Bagaimana pola aliran yang terjadi.
3. Bagaimana garis arus aliran satu fase air dan dua komponen air-udara.
4. Bagaimana pengaruh kecepatan aliran terhadap panjang daerah pusaran karena pengecilan pipa secara mendadak.

Gradien tekanan:

Gradien tekanan aliran dua-fase melalui suatu sistem adalah parameter yang penting dalam perancangan, baik untuk sistem adiabatik maupun sistem dengan perubahan fase seperti ketel dan kondensor. Tidak ada korelasi umum untuk penurunan tekanan aliran dua-fase yang akurat, mungkin korelasi yang ada digunakan untuk mewakili berbagai situasi fisik. Walaupun demikian, untuk menghitung penurunan tekanan diadakan pendekatan seperti aliran dianggap homogen atau terpisah.

Penurunan tekanan didefinisikan sebagai gradien tekanan $\frac{dp}{dz}$, yang

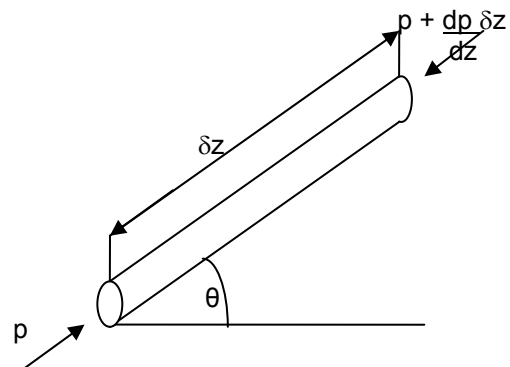
diintegral dz

kan terhadap panjang pipa L, secara umum dapat ditulis sebagai berikut:

$$\Delta p = \int_0^L \frac{dp}{dz} dz \dots\dots\dots(1)$$

Aliran satu- fase

Untuk memprediksi penurunan tekanan dalam sistem harus ditentukan dahulu gradien tekanan. Untuk aliran sepanjang pipa sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.7. berikut :



Gambar 1. Volume kontrol aliran satu fase
Persamaan perubahan momentum (untuk aliran tunak) dari Gambar 1. di atas adalah tekanan + gaya geser dinding + gravitasi.

$$- \frac{dp}{dz} \delta z \frac{\pi D^2}{4} - \tau \delta z \pi D - \frac{\pi D^2}{4} \delta z \rho g \sin \theta = - \frac{d}{dz} (GAU) \delta z \dots\dots\dots(2.)$$

Dengan mengganti $U = \frac{G}{\rho}$,

maka persamaan (1.) menjadi:

$$- \frac{dp}{dz} \delta z \frac{\pi D^2}{4} - \tau \delta z \pi D - \frac{\pi D^2}{4} \delta z \rho g \sin \theta = \frac{d}{dz} (G^2 A \frac{1}{\rho}) \delta z \dots\dots\dots (3.)$$

Persamaan (2.8) dibagi dengan $\delta z \frac{\pi D^2}{4}$, menjadi:

$$- \frac{dp}{dz} = \frac{4\tau}{D} + \rho g \sin \theta + G^2 \frac{d}{dz} (\frac{1}{\rho}) \dots\dots(4.)$$

- dengan : G = laju aliran massa total per luas total atau fluks massa total (kg/m² s).
- U = kecepatan aliran (m/s).
- ρ = kerapatan (kg/m³).
- dp/dz = penurunan tekanan (N/m²).
- A = luas penampang (m²).

τ = tegangan geser dinding (N/m²).

D = diameter pipa (m).

Penurunan tekanan total = penurunan tekanan gesekan + penurunan tekanan gravitasi + penurunan tekanan percepatan.

Jadi gradien penurunan tekanan total dapat dinyatakan sebagai penjumlahan dari 3 komponen gradien tekanan. Ketiga komponen yang berbeda tersebut timbul dari pengaruh fisik yang nyata.

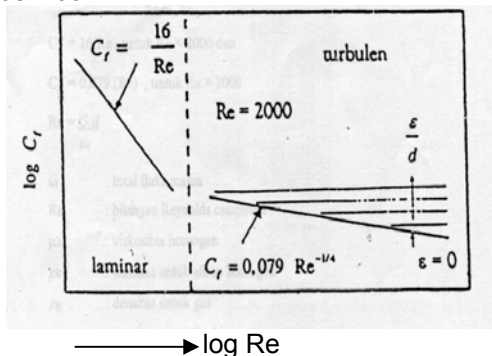
Persamaan (4.) di atas dapat digunakan untuk memprediksi penurunan tekanan dua fase yang terdiri dari gesekan dinding, gravitasi dan percepatan. Pada aliran yang tidak mengalami percepatan dan pipa pada kondisi horisontal, maka persamaan (2.9) menjadi:

$$-\frac{dp}{dz} = \frac{4\tau}{D} \dots\dots\dots(5)$$

Dalam aliran satu-fase, τ biasanya dinyatakan berkaitan dengan faktor gesekan:

$$Cf = \frac{\tau}{0,5 \rho v^2} = \frac{\tau}{0,5 G^2 / \rho} \dots\dots\dots(6.)$$

Besarnya Cf didapat dari gambar berikut :



Gambar 2. Faktor gesekan dalam aliran satu fase

Gambar tersebut menunjukkan hubungan antara faktor gesekan dengan bilangan Reynold, baik untuk aliran laminer maupun aliran turbulen.

$$Cf = 16/Re \dots\dots\dots(7.)$$

jika $Re < 2000$

$$Cf = 0,079 Re^{-1/4} \dots\dots\dots(8.)$$

jika $Re > 2000$

Aliran dua-fase

Penurunan tekanan dua-fase sering dinyatakan dalam kaitannya dengan:

Penurunan tekanan (dua fase) = penurunan tekanan (satu-fase) x pengali (dua fase).

$$(-\frac{dp}{dz}) = (-\frac{dp}{dz})_o \cdot \phi_o^2 \dots\dots\dots(9.)$$

dengan : $(-\frac{dp}{dz})_f$ = gradien tekanan dua fase.

$(-\frac{dp}{dz})_o$ = gradien tekanan satu fase.

ϕ_o^2 = pengali dua fase.

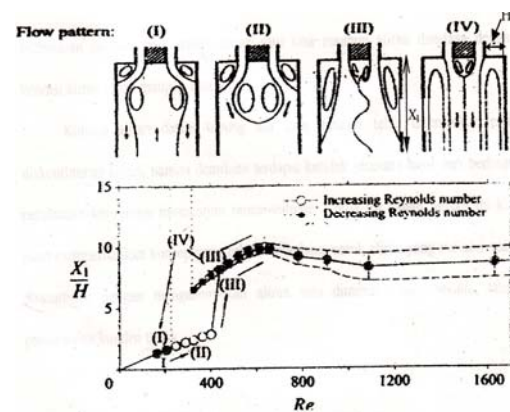
Ito melaporkan bahwa penyebaran tekanan yang terjadi pada belokan yang membentuk sudut 90° adalah tergantung Re dan R/D (Smith, 1971).

Oshinowo dan Charles (1974) melaporkan bahwa pola aliran pada belokan bagian bawah ada 9 macam dan pada belokan bagian atas ada 8 macam, tergantung pada laju aliran udara.

Chisholm melaporkan hasil pengukuran penurunan tekanan pada belokan yang membentuk sudut 90° dengan suatu persamaan (Collier, 1977), demikian pula Giot (1981).

Xin dkk.(1997) melaporkan hasil penelitiannya mengenai hubungan antara pressure drop dengan Parameter Lockart-Martinelli dan fraksi hampa dengan Parameter Lockhart-Martinelli pada annular helicoidal pipes.

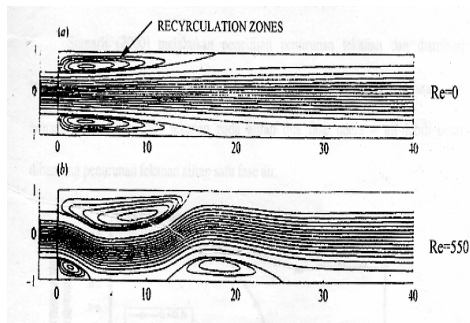
Sheen dkk (1997) melakukan pendiskripsian aliran anular *concentric* melalui *Axisymmetric* perbesaran tiba-tiba menggunakan photo visual dan *Laser Dropller Anemometry* (LDA) untuk melihat pola aliran. Pola alirannya tergantung dari bilangan Reynolds dan ada empat (4) pola aliran yang terjadi yaitu : *open anular flow*, *closed anular*, *vortex shedding* dan *stable central flow*. Fluktuasi kecepatan alir dari pengukuran dilakukan dengan panjang saluran yang bervariasi.



Gambar 3. Grafik X₁/H Vs Re (Sheen dkk., 1997)

Sumarli (2000) melakukan penelitian penurunan tekanan dan distribusi tekanan untuk aliran air-udara pada pengecilan mendadak melalui saluran segi empat, bahwa penurunan tekanan pada aliran

dua fase udara-air lebih besar dibanding penurunan tekanan aliran satu fase air.



Gambar 4. Visualisasi garis arus metode AMI

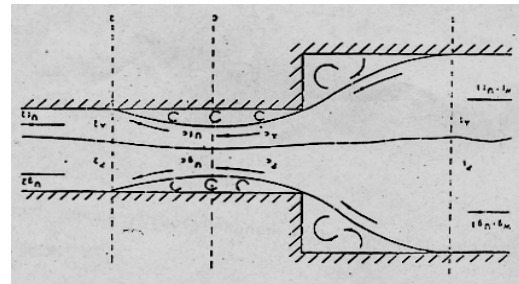
Tujuan Penelitian

1. Mengetahui perubahan/perbedaan tekanan pada setiap titik pengecilan pipa secara mendadak yang meliputi bagian atas, luar, bawah dan dalam.
2. Mengetahui macam-macam pola aliran yang terjadi.
3. Membuat garis arus aliran satu fase air dan dua komponen air-gas.
4. Mendiskripsikan pengaruh kecepatan aliran terhadap panjang daerah pusaran karena pengecilan pipa secara mendadak.

Metode penelitian yang digunakan adalah Metode Kuantitatif secara eksperimental, dengan melakukan pengamatan pada daerah seksi uji, berupa pengecilan pipa secara mendadak yang dialiri fluida cair minyak pelumas dan gas yang digunakan adalah udara dari kompresor. Adapun fluida yang digunakan adalah fluida cair berupa minyak pelumas dan fluida gas berupa udara, dengan berbagai variasi debit dan kecepatan aliran dan dilakukan pengukuran distribusi tekanannya.

Data yang didapat secara eksperimen, kemudian dianalisa tentang kerugian yang terjadi pada seksi uji, untuk mendapatkan kesimpulan tentang distribusi tekanan aliran pada pengecilan pipa secara mendadak dan visualisasi pola aliran yang terjadi

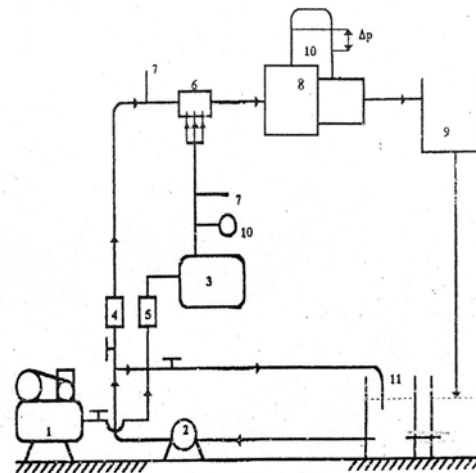
Langkah awal dalam penelitian adalah melakukan pengadaan bahan dan alat yang diperlukan serta membuat seksi uji. Setelah seksi uji, alat dan bahan dikumpulkan, kemudian merakit instalasi percobaan. Sebelum pengambilan data dimulai, perlu dilakukan kalibrasi alat ukur dan pemeriksaan terhadap kebocoran pada setiap sambungan saluran.



Gambar 5. Sudden Contraction

Pendekatan umum yang digunakan untuk aliran fase tunggal dan tak mampu mampat dapat juga diterapkan pada aliran dua fase terpisah melewati pengecilan secara mendadak.

Saat fluida mengalir dari bidang 1 ke bidang c pada *vena contracta*, aliran dipercepat dan energi tekanan diubah menjadi energi kinetik dengan sedikit atau tanpa disipasi akibat gesekan.



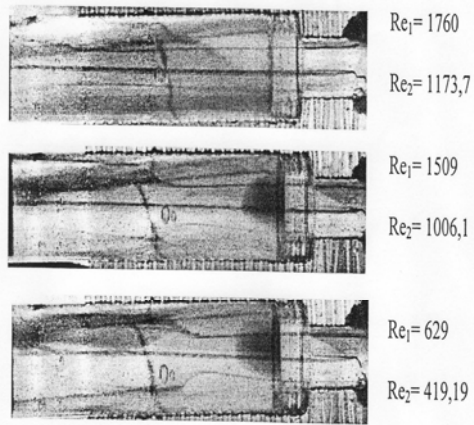
Gambar 6. Susunan Alat Penelitian
Keterangan Gambar :

1. Kompresor
2. Pompa
3. Penampung udara
4. Flowmeter air
5. Rotameter udara
6. Pencampur udara-air
7. Termometer
8. Seksi uji
9. Bak pemisah udara-air
10. Manometer
11. Bak penampung air

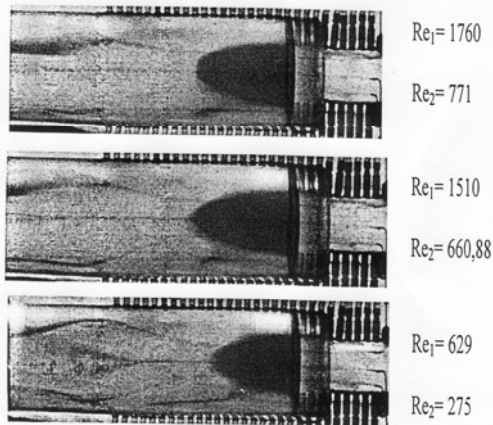
PEMBAHASAN

Hasil visualisasi garis arus aliran satu fase (air) pada koefisien perbesaran (S) = 1,5, 2, dan 2,5 atau pengecilan dari pipa 1 inch ke pipa 0,4, 0,25, dan 0,16 inch ditunjukkan pada gambar 4.1. Hasil percobaan menunjukkan bahwa, hubungan antara panjang daerah pusaran

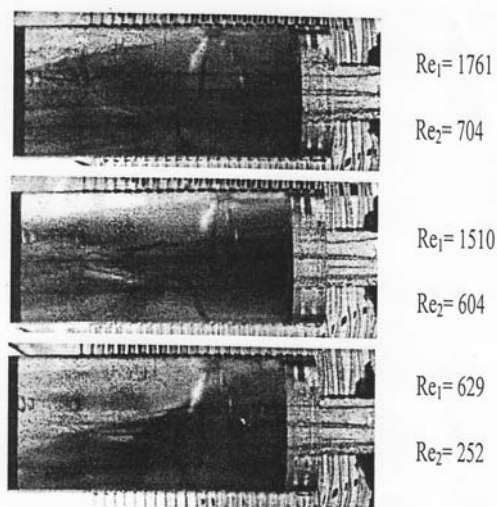
atau *circulation zones* (X_L) dengan tinggi pengecilan (H), pada fluks massa $G_1 = 4,733 \text{ kg/m}^2\text{det}$ sampai $G_1 = 13,253 \text{ kg/m}^2\text{det}$ dalam parameter non dimensional (Re) sebagai berikut :



Gambar 7. Visualisasi garis arus aliran satu fase pada $S = 0,4$



Gambar 8. Visualisasi garis arus aliran satu fase pada $S = 0,25$



Gambar 9. Visualisasi garis arus aliran satu fase pada $S = 0,16$

Dari gambar diatas bahwa pada pengecilan $S = 0,4$ diperoleh visualisasi garis arus yang cukup sempurna, sedang untuk pengecilan $S = 0,25$ dan $0,16$ hasil visualisasi garis arus kurang sempurna dikarenakan

Pertama : Dimensi seksi uji pada perbesaran yang relatif pendek kurang lebih 30 cm, dan diameter pipanya kecil, sehingga kecenderungan aliran yang terjadi adalah aliran turbulen.

Kedua : Bahan pewarna mudah terlarut alam air.

Catatan lain dari hasil pengamatan, bahwa garis arus pada pengecilan $S = 0,25$ dan $0,16$ diperoleh kondisi yang mendekati acak (turbulen) meskipun kecepatan aliran masih kecil yaitu pada $Re_2 = 275$ sampai 771 untuk $S = 0,25$ dan $Re_2 = 252$ sampai 704 untuk $S = 0,16$ dikarenakan viskosita cairan rendah, sehingga gaya viskos tidak mampu lagi menahan gaya inersia. Hal ini sangat mungkin dipengaruhi oleh properti (kecepatan fluida, konsentrasi dan temperatur) dari fluida yang berfluktuasi pada daerah pengecilan baik besar maupun arahnya (random dalam skala mikro). Dalam teori turbulensi, meski properti (P) kondisinya naik turun namun ada harga rata-ratanya (P), dari harga rata-rata tersebut terdapat harga penyimpangan (P') pada suatu saat terhadap harga rata-rata, sehingga semua properti tersebut harganya : $P = P + P'$ (Incroperra, 1996).

Faktor lain yang mempengaruhi keadaan garis arus adalah adanya hambatan pada sambungan pipa, mengingat seksi uji yang relatif pendek sehingga harus disambung-sambung, sedangkan dalam teori disebutkan bahwa untuk mendapatkan aliran yang laminar dibutuhkan kondisi saluran pipa yang mulus tanpa hambatan, jika dalam keadaan terpaksa harus dipasang assesoris lain, penempatannya harus sangat-sangat diperhatikan, seperti pencampur udara dengan air maupun pencampur bahan pewarna dengan air hendaknya dipasang minimal 100 kali diameter pipa pada sebelum maupun sesudah seksi uji dan geometrinya harus dibuat kecil mungkin.

Disamping faktor diatas pengaruh kecepatan aliran menjadikan perpindahan massa dari tempat bahan pewarna yang terkonsentrasi pada jalur injektor secara konveksi ke daerah yang konsentrasi

bahan pewarnanya rendah mengalami percepatan.

Hasil visualisasi pola aliran dua fase arah horizontal pada pengecilan ditunjukkan pada gambar 10. :

Pada debit udara masih kecil pada saluran masuk terlihat pola aliran yang terjadi merupakan aliran gelembung (bubble), gelembung udara mengalir pada bagian atas tube karena massa jenisnya lebih kecil dari air. Begitu memasuki pengecilan, gelembung terkumpul pada sudut pengecilan bagian atas (a).

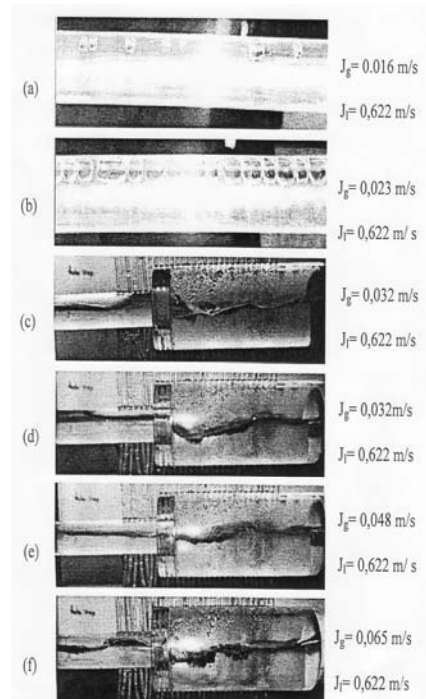
Pada debit udara yang agak besar, aliran berubah menjadi aliran kantong udara, dimana beberapa gelembung mengumpul menjadi kantong-kantong kecil (b).

Pada debit udara lebih diperbesar lagi, kondisi aliran masih merupakan aliran kantong, hanya ukurannya lebih besar dari (b). Gambar (c) memperhatikan ujung dari kantong udara, dan pangkal kantong diperlihatkan pada gambar (d).

Pada penambahan debit udara melebihi (c) dan (d) aliran berubah menjadi aliran strata gelombang seperti gambar (e) atau juga merupakan pola aliran terpisah dimana air dan udara bergerak dengan kecepatan yang berbeda.

Kemudian jika debit udara ditambah lagi maka diperoleh kondisi aliran yang merupakan pola sumbat liquid (f).

Dalam kondisi aliran bubble seperti gambar 10.a dan aliran kantong gambar 10.b, fenomena dimana gelembung udara cenderung untuk mengalir pada bagian atas tube, semata-mata karena perbedaan berat jenis dari fluidanya. Title dan Duker dalam penelitiannya membagi kondisi pola aliran dua fase air dan gas menjadi 6 kelompok : Bubble, kantong, strata licin, gelombang, sumbat likuid dan cincin. Dalam penelitian ini sebelum terjadi aliran strata gelombang, mestinya ada pola yang disebut strata licin, namun kenyataannya kondisi ini sulit didapatkan.

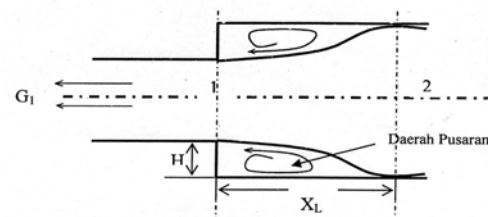


Gambar 10. Visualisasi pola aliran dua fase pada pengecilan $S = 0,16$

Sebagaimana gambar 10.d dengan kondisi alirannya sudah terpisah antara cairan dan udara, terlihat bahwa amplitudo gelombang meningkat karena kenaikan kecepatan gas, sehingga cairan menjadi tidak stabil, ketidak stabilan ini merupakan efek pengisapan di atas gelombang terhadap efek gravitasi.

Pada ketinggian cairan cukup rendah, gelombang akan menyapu dan mengelilingi tube membentuk cincin, dan pada ketinggian cairan yang cukup besar, gelombang terbentuk pada batas fase dan disapu oleh gas atau menyentuh permukaan atas tube (kondisi sumbat likuid) yang membawanya ke regim peralihan.

Untuk mendiskripsikan hubungan pengaruh panjang daerah pusaran dan tinggi perbesaran diamati pada percobaan $S = 0,4$, karena pada koefisien perbesaran ini diperoleh visualisasi garis arus yang terbaik.

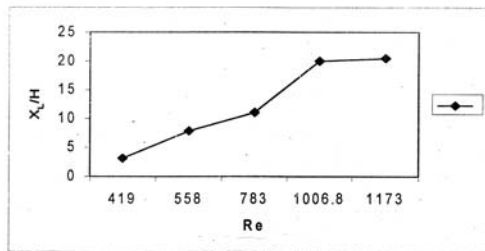


Gambar 11. Bagan penampang seksi uji Hasil percobaan menunjukkan bahwa hubungan antara panjang daerah

pusaran atau *circulation zones* (X_L) dengan tinggi pengecilan (H), pada fluks massa $G_1 = 4,733 \text{ kg/m}^2\text{det}$ sampai $G_1 = 13,253 \text{ kg/m}^2\text{det}$ dalam parameter non dimensional (Re) sebagai berikut :

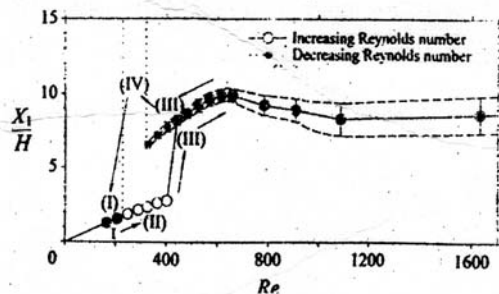
Tabel.1.

No	G_1 ($\text{kg/m}^2\text{det}$)	Re	X_L/H
1	13,253	1173	20,47
2	11,36	1006,8	20
3	8,835	783	11,023
4	6,331	558	7,87
5	4,733	419	3,149



Gambar 12. Grafik Hubungan X_L/H dan Re untuk $S = 0,4$

Dari hubungan X_L terhadap Re diatas, menunjukkan kesamaan pola dengan penelitian Seen dkk (1997) pada penelitian aliran *concentric* melalui pengecilan pipa dimana X_L akan bertambah dengan bertambahnya Re .



Gambar 13. Grafik X_L/H dan Re (Sheen dkk. 1977).

Keadaan di atas dapat dianalogikan dengan teori lapis batas bahwa, X_L merupakan fungsi dari Re , begitu juga H yang diekspresikan dalam persamaan lapis batas (δ) pada jarak x :

Atau (dalam Incropera, 1996)

$$\delta = \frac{5.20}{\sqrt{Re_x}}$$

$$\delta = \frac{5.20 \cdot x}{\sqrt{Re_x}}$$

Pada aliran laminar, jika $\delta = H$ dan $x = X_L$ maka persamaan menjadi :

$$H = \frac{5.20 \cdot X_L}{\sqrt{Re_{xL}}}$$

Dari persamaan di atas ditunjukkan bahwa δ dan X_L akan meningkat dengan kenaikan Re . Prandtl memberikan penjelasan bahwa untuk fluida yang bergerak, semua rugi-rugi gesekan terjadi di dalam suatu lapisan tipis yang berdekatan dengan batas sebuah benda padat (yang disebut lapisan batas), dan bahwa aliran di luar lapisan batas ini bisa dianggap tanpa gesekan. Kecepatan di dekat batas tersebut dipengaruhi oleh geseran batas.

Berdasarkan persamaan energi bahwa :
Energi yang masuk = Energi yang keluar + rugi head

Kondisi di daerah pusaran (*cyrculation zones*) terjadi peningkatan head statis secara perlahan-lahan sampai pada akhir daerah pusaran, namun head kecepatannya

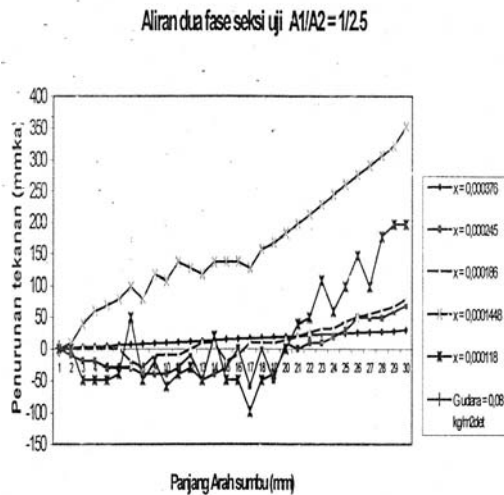
$$h_1 = \frac{P_1 - P_2 + V_1^2 - V_2^2}{\rho \cdot g}$$

mengalami penurunan dari awal pengecilan secara bertahap pula, sampai akhir daerah pusaran, begitu juga energi yang hilang dari awal pengecilan juga berangsur-angsur naik sampai akhir daerah pusaran. Sesuai persamaan Bernoulli dari titik 1 ke titik 2.

Gambar 11. ; 12. dan 13. memperlihatkan hasil pengukuran perubahan tekanan pada sumbu saluran aliran satu fase cair pada beberapa variasi fluks massa.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sebelum memasuki pengecilan, tekanan mengalami kenaikan secara linier karena gesekan sepanjang pipa begitu memasuki pengecilan, tekanan mengalami penurunan secara linier karena rugi gesekan sepanjang dinding pipa.

Perubahan tekanan pada daerah pusaran tersebut disebabkan oleh adanya perubahan kecepatan (perlambatan). Sesuai dengan teori kontinuitas bahwa perubahan suatu energi pada sistem akan diikuti oleh perubahan energi dalam bentuk lain.



Gambar 14. Profil Distribusi Tekanan Sepanjang Sumbu Saluran Aliran Dua-Fase Cair Pada $S = 0.4$

KESIMPULAN

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa visualisasi garis arus tampak bagus pada pengecilan 1,5 : 1 dengan panjang daerah pusaran X_1 (circulation zones) dan tinggi pengecilan (H) merupakan fungsi dari Re , pada fluks massa $G_1 = 4,733 \text{ kg/m}^2\text{det}$ sampai $G_1 = 13,253 \text{ kg/m}^2\text{det}$ dengan X_1/H berturut-turut 20.7, 20, 11.02, 7.87, 3.14, sedang pada rasio 2 : 1 dan 2.5 : 1 hubungan Re terhadap X_1 dan H sulit untuk diamati karena keterbatasan seksi uji.
2. Hasil visualisasi pola aliran dua fase pada kecepatan supervisial $J_g = 0,016 \text{ m/s}$, $J_l = 0,622 \text{ m/s}$ membentuk pola aliran bubble, pada $J_g = 0,032 \text{ m/s}$, $J_l = 0,622 \text{ m/s}$ membentuk pola aliran kantong, pada $J_g = 0,048 \text{ m/s}$, $J_l = 0,622 \text{ m/s}$ membentuk pola aliran strata gelombang, pada $J_g = 0,065 \text{ m/s}$, $J_l = 0,622 \text{ m/s}$ membentuk pola aliran sumbat liquid.
3. Hasil pengukuran dan perhitungan distribusi tekanan sepanjang sumbu saluran memperlihatkan bahwa penurunan tekanan meningkat dengan kenaikan fluks massa (G) dan kualitas (x). Penurunan tekanan pada asumsi aliran homogen lebih besar dibanding dengan asumsi aliran terpisah menggunakan teori Chisholm.

DAFTAR PUSTAKA

Alleborn, 1977, *Further Contribution on the two dimensional flow in sudden expansion*,

International Journal Fluid Mechanics, vol. 330, pp 169-188, Cambridge University Press.

- Carsoni, 2002, *Studi Eksperimental Aliran Searah Gas-Cair pada Belokan*, Tesis, Program Pascasarjana, UGM, Yogyakarta.
- Collier, J.G., 1981, *Convective Boiling and Condensation*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Collier, J.G., 1977, *Single phase and Two-Phase Flow Behaviour in Primary Circuit Components*, dalam Kakac (Ed), *Two Phase Flow and Heat Transfer*, Washington, Hemisphere Publishing Corporation.
- Christine Darve, 2000, *US-IT-HXTU Pressure drop distribution*, [http://WWW_bdNew.fnal.Gov/Cryo_darve/heat exchanger](http://WWW_bdNew.fnal.Gov/Cryo_darve/heat%20exchanger).
- Giot, M., 1981, *Singular Pressure Drops*, dalam Delhaye (Ed), *Thermohydrolics of Two-Phase System for Industrial Design and Nuclear Engineering*, Washington, Hemisphere Publishing Corporation.
- Hetsroni, G., 1982, *Handbook of Multiphase Systems*, Hemisphere Publishing Corporation, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Incoperra, D. Hewitt, 1996, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Fourth Edition, John Wiley and Sons, New York.
- Koestoer, R.A., 1992, *Aliran Dua Fase dan Fluks Kalor Kritis*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Muhajir, K., 2004, *Studi Eksperimental Aliran Gas-Cair Fluida Viskos Searah Pada Belokan Pipa U*, Tesis Program Pasca sarjana, UGM, Yogyakarta.
- Oshinowo, T., Charles, M.E., 1974, *Vertical Two-Phase Flow, Part I Flow Pattern Correlations*, The Journal of Chemical Engineering, Vol. 52, pp. 25-35.
- Sarjito, 2002, *Studi Aliran Dua-Fase Gas-Cair Melewati Pembesaran Saluran Secara Mendadak Pada Penampang Lingkaran*, Tesis S-2, Jurusan Teknik Mesin Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Sheen, 1977, *Flow patterns for an annular flow over an axisymmetric sudden expansion*, International Journal Fluid Mechanics, Vol 350, pp 177-188, Cambridge University Press.
- Smith, A.J.W., 1971, *Pressure Losses in*

- Ducted Flows*, Butterworths, pp. 31-84.
- Sumarli, 2000, *Studi Aliran dua fase gas-cair melewati pengecilan saluran secara mendadak penampang segi empat*, Tesis S-2, Jurusan Teknik Mesin Universitas Gajah Mada Yogyakarta.
- Wallis, G. B., 1968, *One-dimensional Two-phase Flow*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Xin, R. C., Awward, A., Dong, D. F., and Ebadian, M.A., 1977, *An Experimental Study of Single-Phase and Two-Phase Flow Pressure Drop in Annular Helicoidal Pipes*, Int. J. Heat and Fluid Flow, Vol. 18, No. 5, pp. 482-488.