STUDI EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK PRESSURE DROP ALIRAN DUA FASE AIR – UDARA PADA ELBOWMITER

Drajat Indah Mawarni[a*], Eko Sutarto[b] , Muksan Junaidi[c]
(Tanda bintang [(*)] menunjukan penulis **KORESPONDENSI, Tidak harus penulis pertama**, dan harus menyertakan e-mail)

[a] Teknik Mesin STT Ronggolawe Cepu
[b] Teknik Mesin STT Ronggolawe Cepu
[c]Teknik Informatika STT Ronggolawe Cepu
[*] drajatindah74@gmail.com

Diterima : 07-06-2023 - Direview : 08-06-2023 - Diterbitkan : 30-06-2023

Intisari

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh belokan patah (*elbow miter*) tehadap *pressure drop* aliran dua fase. Penggunaan *elbow* pada sistem perpipaan sangat umum sekali karena untuk memenuhi kebutuhan desain dan geometri sistem perpipaan. Piranti uji menggunakan pipa *acrylic* dengan diameter dalam 32 mm pada posisi vertikal, disambung dengan *elbow miter* 45ºdan dilanjutkan dengan pipa dengan kemiringan 45º. Air dan udara digunakan sebagai fluida kerja. Pengujian dilakukan dengan variasi kecepatan *superfisial* cairan (U_{SL}) mulai 0,30-0,50 m/s dan kualitas volumetrik udara (β)= 0,06-0,22. Pola aliran didokumentasikan dengan kamera digital dan pengukuran *pressure drop* menggunakan manometer tipe-U. Hasil pola aliran dengan variasi range U_{SL} 0,30-0,50 m/s menunjukkan pola aliran *bubble flow*, seiring meningkatnya nilai U_{SL} konsentrasi bubble cenderung menempati *inner elbow*. *Pressure drop* aliran dua fase menurun seiring meningkatnya nilai β pada aliran hal tersebut dikarenakan menurunnya nilai massa jenis aliran. *Pressure drop* terendah terjadi pada U_{SL} 0,30 m/s dan β 0,22 yaitu sebesar 3628,591 N/m^2, sedangkan nilai *pressure drop* tertinggi terjadi pada U_{SL} 0,50 m/s dan β 0,06 yaitu sebesar 3892,67 N/m^2.

Kata Kunci *Aliran dua fase, Elbow miter 45º, Pressure drops*.

Abstract

This study aims to determine the effect of a broken bend (miter elbow) on the pressure drop of two-phase flow. The use of elbows in piping systems is very common because it meets the needs of the design and geometry of the piping system. The test device used an acrylic pipe with an inside diameter of 32 mm in a vertical position, connected to a 45º elbow miter and continued with a pipe with a 45º slope. Water and air are used as working fluids. The tests were carried out with variations in the superficial velocity of the liquid (USL) from 0.30-0.50 m/s and the volumetric quality of air (β) = 0.06-0.22. The flow pattern was documented with a digital camera and the pressure drop was measured using a U-type manometer. The results of the flow pattern with variations in the USL range of 0.30-0.50 m/s show a bubble flow pattern, as the USL value increases the concentration of bubbles tends to occupy the inner elbow. The pressure drop for two-phase flow decreases as the value of β in the flow increases, this is due to the decrease in the density value of the flow. The lowest pressure drop occurred at USL 0.30 m/s and β 0.22 which was 3628.591 N/m2, while the highest pressure drop occurred at USL 0.50 m/s and β 0.06 which was 3892.67 N/m2.

Keywords *Two-phase flow, Elbow miter 45º, Pressure drops*
.

1. Pendahuluan

Aliran dua fase merupakan aliran yang memiliki dua jenis fase, baik itu cair-gas, cair-padat, dan padat-gas. Aliran dua fase mempunyai fenomena yang sangat kompleks, hal ini dikarenakan adanya interaksi antar fase yang berbeda, bentuk geometri dan orientasi (vertikal maupun horizontal), arah aliran (searah maupun berlawanan arah), deformasi permukaan dan sebagainya. Hal tersebut sangat berbeda dengan aliran satu fase yang hanya dipengaruhi oleh *Reynold number* yang didapat dari masa jenis, viskositas dan ukuran diameter pipa.

Karena efek interaksi antar fase, bentuk geometri dan parameter-parameter tertentu dari aliran dua fase maka pola aliran (*flow regime*) akan berubah-ubah. Perubahan aliran tersebut dapat menyebabkan nilai *pressure drop* yang berubah-ubah (*fluktuatif*) yang merugikan dalam sistem transportasi fluida. Oleh karena itu diperlukan kegiatan pengamatan untuk mengidentifikasi fenomena-fenomena yang terjadi agar besar *pressure drop* dapat diketahui. Selain itu komponen-komponen tambahan didalam sistem perpipaan (*fitting & valve*) juga memiliki konstribusi yang tinggi dalam menentukan besarnya nilai *pressure drop*. Penggunaan sambungan *elbow* dalam sistem perpipaan sangat umum dan sering sekali untuk memenuhi kebutuhan desain dan geometri dari sebuah sistem perpipaan. *Elbow* sendiri jika dilihat dari jenis belokannya terdapat dua jenis belokan, yaitu *elbow* patah (*miter*) dan *elbow* jari – jari.

Penelitian dengan *elbow* jari–jari dilakukan menggunakan *elbow* 30º dengan R/D= 0,7 dari pipa vertikal menuju pipa dengan sudut kemiringan 60º dengan diameter dalam pipa 0,036 m. Hasil yang didapatkan bahwa *pressure drop* pada

elbow menurun dengan bertambahnya *Reynold superficial gas*(Re_{SG}) yang diberikan. (Widayana and Yuwono, 2010). Penelitian selanjutnya menggunakan *elbow* 60^o dengan R/D=0,7 menyimpulkan bahwa *pressure drop* pada *elbow* menurun dengan meningkatnya nilai β pada bilangan *Reynolds superficial liquid* (Re_{SL}) 13.497 sampai dengan 32.492, tetapi pada Re_{SL} 40.490 – 4.948 *pressure drop* cenderung turun dan kemudian naik dengan bertambahnya β. (Dwi Korawan, 2015)

Penelitian tentang pemodelan dan verifikasi aliran dua fase air – udara di belokan 90^o dengan radius belokan 0,02 m dan diameter dalam pipa 0,029 m, hasil simulasi dan eksperimen menunjukkan bahwa terdapat keterkaitan antara *flow pattern* dengan *pressure drop* yaitu semakin besar proporsi volumetrik udara (β) maka bilangan *Reynold* air (Re_{SL}) semakin menurun sehingga memberikan udara untuk mengisi ruang belokan 90^o yang menyebabkan *pressure drop* akan menurun. Menurunnya *pressure drop* dipengaruhi dari fraksi masing – masing fase yang berhubungan dengan densitas campuran (ρ_m).(Nugraha, Soenoko and Wahyudi, 2014)

Penelitian menggunakan *elbow miter* dengan sudut 90^{o}diameter dalam pipa 19,05 mm menunjukkan pengaruh *Reynold number* terhadap *head losses*, dimana semakin meningkatnya nilai *Reynold number* maka *head losses* juga akan meningkat, akan tetapi penelitian tersebut terbatas pada aliran satu fase.(Meir, 2013). Penelitian yang lainnya menggunakan variasi sambungan belokan 30^o,45^o, 60^o, 90^o menjukkan bahwa sudut sambungan belokan berbanding lurus dengan *pressure drop* sehingga semakin besar sudut sambungan belokan pipa, nilai *pressure drop* yang dihasilkan semakin besar, akan tetapi penelitian tersebut hanya terbatas pada aliran satu fase.(Wahyudi dan Agung Sugeng Widodo, 2014).

2. Kerangka Teori

Aliran dua fase merupakan salah satu jenis dari aliran multi fase, dimana pada aliran dua fase memiliki dua jenis fase yang saling berhubungan dalam suatu aliran misalnya fase-fase seperti gas dalam sebuah *liquid*. Aliran dua fase memiliki fenomena yang sangat kompleks yang sulit diprediksi dan dimodelkan. Fenomena – fenomena yang terdapat dalam aliran dua fase sendiri dapat dipengaruhi dari berbagai properti yang terdapat dalam aliran tersebut, seperti jenis dan karakteristik fluida, bentuk dan kekasaran permukaan yang dilalui aliran, orientasi, arah aliran dan lain sebagainya.

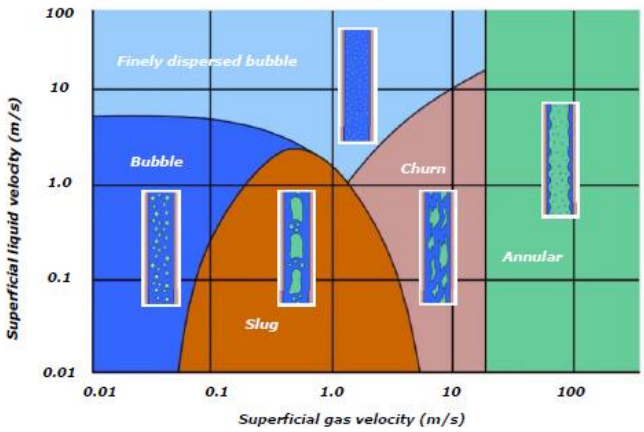
Karakteristik-karakteristik fase tunggal yang umum seperti *velocity profile*, *turbulence*, dan *boundary layer* sejauh ini tidak sesuai untuk menjabarkan sifat asli dari aliran semacam ini. Akan tetapi seiring peningkatan program komputasi telah memungkinkan pengembangan model numerik yang bisa digunakan untuk melengkapi desain sistem engineering dari aliran dua fase. Contoh aplikasi dalam *engineering* dan *scientific* mengenai aliran dua fase, seperti aliran didalam *kondensor*, *evaporator*, *boiler*, *bubble coloumn reactor* dan sebagainya.

2.1. Pola Aliran Dua Fase (flow patern)

Flow patern aliran dua fase pada posisi vertikal dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu:

a. *Dispersed flow*, mempunyai karakteristik dengan distribusi fase yang seragam baik dari arah radial maupun aksial. Contoh dari aliran tersebut adalah *bubble flow* dan *mist flow*.
b. *Separated flow*, mempunyai karakteristik dengan distribusi fase pada arah radial tidak berkelanjutan (*non-continuous*) dan pada arah aksial mempunyai distribusi fase yang berkelanjutan (*continuous*). Contoh dari aliran tersebut adalah *stratified* dan *annular flow*.

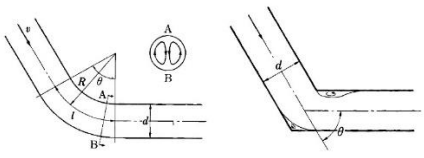
Intermittent flow, mempunyai karakteristik pada arah aksial terdapat distribusi fase yang tidak berkelanjutan (*non-continuous*). Contoh dari aliran tersebur adalah *churn* dan *slug flow*.



Gambar 1. Pemetaan dan pola aliran untuk aliran posisi vertikal(Crowe and Group, 2006).

2.2. Pengaruh Elbow terhadap Aliran

Elbow merupakan jenis pipa yang melengkung dengan sudut tertentu yang berfungsi sebagai pengubah arah aliran. *Elbow* sendiri dapat dibagi menjadi dua jenis menurut tipe geometri belokannya yaitu *elbow miter* dan *elbow* jari – jari (*radius*).



(a.) *(b.)*

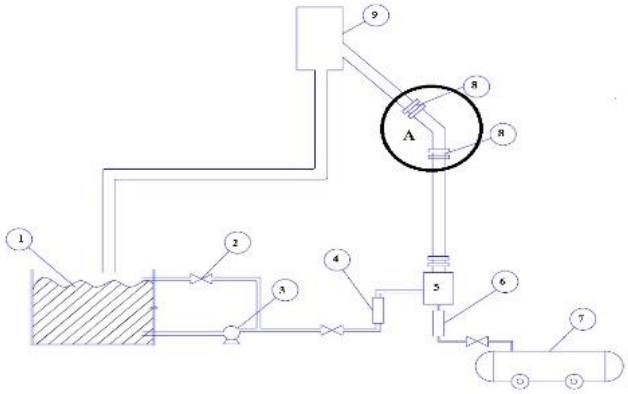
Gambar 2. Jenis-jenis *elbow* (a.) *Elbow* jari-jari (b.) *Elbow miter*.

Penggunaan *elbow* pada instalasi perpipaan juga dapat menimbulkan fenomena – fenomena aliran yang cenderung merugikan yaitu:

a. *Pressure drop*, hal ini diakibatkan oleh friksi dan *secondary flow* yang mengakibatkan timbulnya *twin eddy* (pusaran ganda). Separasi aliran, yang mengakibatkan terjadinya *vortex*, getaran dan kavitasi.
b. *Secondary flow*, hal ini diakibatkan adanya perbedaan tekanan pada sisi *inner* dan sisi *outer wall elbow*.

3. Metodologi

Untuk melakukan penelitian, dibuat rangkaian khusus aliran dua fase dengan fluida kerja air dan udara seperti yang terlihat pada gambar 3.1. Bidang uji terdiri dari pipa *acrylic* dengan panjang pipa pada posisi vertikal 2 m dan sebuah pipa dengan kemiringan 45º sepanjang 1 m yang saling tersambung dengan *elbow miter* 45º



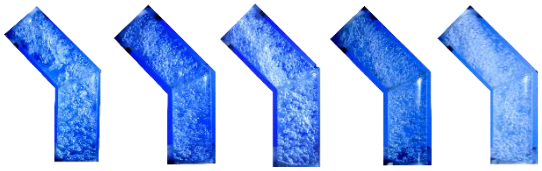
Gambar 3. Skema alat penelitian

Keterangan:
1.Tangki air, 2.Katup, 3.Pompa Bypass, 4.*Liquid flow meter*, 5.*Accumulator*, 6.Gas flow meter 7. Kompresor, 8.Pressure, 9. Separator taps

4. Hasil dan Pembahasan

Letak posisi pengamatan pola aliran dan nilai *pressure drop* hanya dilakukan pada *elbow miter* 45º, pressure *drop* dan pola aliran pada pipa vertikal dan miring diabaikan.

4.1 Pola Aliran



Gambar 4. Pola aliran pada *elbowmiter* dengan nilai β konstan 0,22 dengan U_{SL}0,30 sampai 0,50 m/s.

Pola aliran dengan β konstan 0,22 dengan variasi nilai U_{SL} 0,30-0,50 m/s menunjukkan bahwa pola alirannya adalah *bubble flow* secara keseluruhan. Pada nilai U_{SL} 0,30m/s distribusi *bubble* lebih banyak terdapat pada *outer elbow* dengan jarak *bubble* lebih lebar, sedangkan pada nilai U_{SL} 0,35 m/s distribusi gelembung pada aliran cenderung lebih rata menempati seluruh luasan *elbow*. Untuk nilai U_{SL} 0,40-0,50 m/s gelembung udara cenderung memiliki densitas yang lebih tinggi pada *inner elbow*. Peningkatan nilai U_{SL} pada nilai β yang konstan menunjukkan karakteristik dimana terjadi perubahan posisi konsentrasi *bubble* seiring meningkatnya nilai $U_{SL,}$ konsentrasi letak *bubble* berubah posisi dari *outer* menuju *inner elbow*.

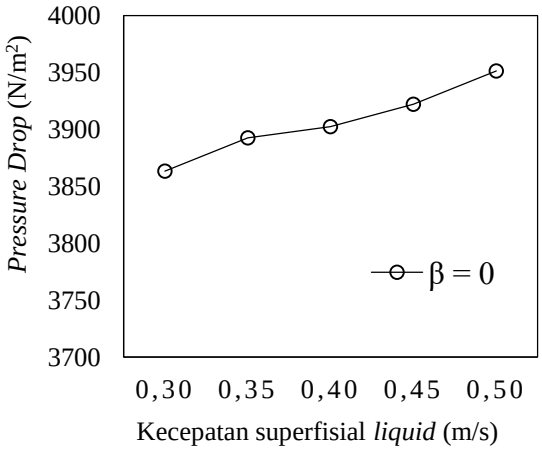
4.2 *Pressure drop* aliran

Perhitungan nilai *pressure drop* dilakukan secara eksperimen pada *elbow* 45º.

$$\Delta P_{EB} = [\Delta Z + (h_{11} - h_{12})]\rho \times g \quad (1)$$

Dimana:
ΔP_{EB} = *Pressure drop* pada *elbow* (N/m^2)
ΔZ = *Elevation* antara *pressure taps* (m)
h = Ketinggian level air pada manometer (m)
g= Percepatan gravitasi (m/s^2)
ρ= Densitas *liquid* (kg/m^3)

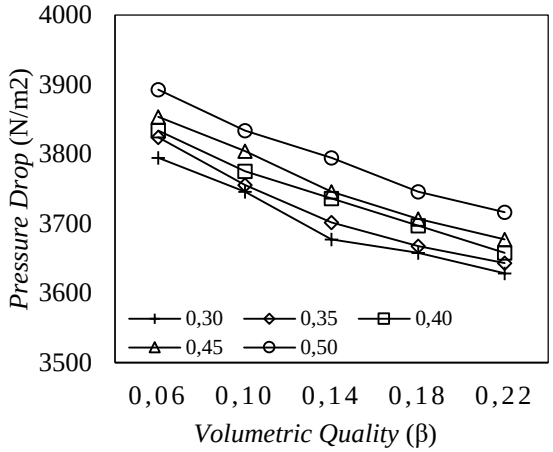
Dengan variasi kecepatan superfisial *liquid* (U_{SL}) mulai dari 0,30 m/s sampai dengan 0,50 m/s dan variasi *volumetric quality* (β) dari 0,06 sampai dengan 0,22 menghasilkan nilai *pressure drop* sebagai berikut:



Gambar 5. *Pressure drop* aliran satu fase dengan variasi U_{SL} 0,30 – 0,50 m/s.

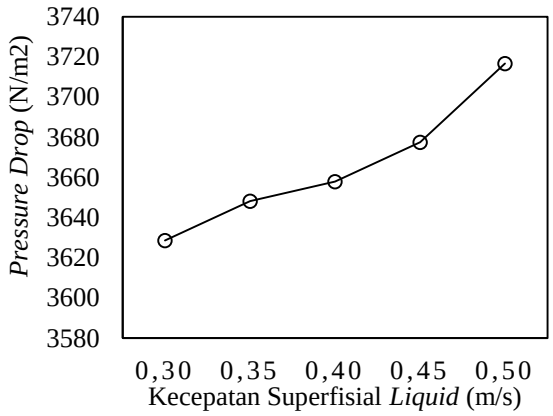
Hasil nilai *pressure drop* aliran satu fase (β=0) pada penelitian ini menunjukkan nilai yang meningkat. Peningkatan nilai *pressure drop* tersebut dapat terjadi dikarenakan meningkatnya kecepatan fluida cair dan bertambahnya debit fluida yang melewati lintasan pipa uji. Selain itu penggunaan *elbow miter* pada pipa uji juga sangat mempengaruhi nilai *pressure drop* yang ditimbulkan, selain itu peningkatan nilai *Reynold number* juga meningkatkan nilai *losses* aliran.

Reynold number sendiri sangat berkaitan dengan kecepatan aliran dimana meningkatnya kecepatan aliran juga akan meningkatkan nilai *Reynold number*, sedangkan meningkatnya nilai *losses* aliran juga akan menyebabkan meningkatnya nilai *pressure drop*. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan perubahan arah aliran dengan sudut tertentu sehingga dapat menyebabkan *losses* atau kerugian yang cukup besar terhadap aliran fluida tersebut.



Gambar 6. Grafik *pressure drop* aliran dua fase pada *elbow miter* 45^{o} dengan variasi nilai U_{SL} 0,30-0,50 m/s dan β 0,06-0,22.

Gambar 6. menunjukkan bahwa pada setiap variasi nilai U_{SL} menunjukkan nilai p*ressure drop* yang menurun. Hal tersebut disebabkan oleh menurunnya nilai massa jenis campuran dari aliran tersebut. Bertambahnya nilai β pada aliran akan mempengaruhi nilai massa jenis campuran pada aliran dua fase, dimana nilai massa jenis aliran akan lebih rendah dibandingkan aliran satu fase. Setiap peningkatan nilai β pada keseluruhan variasi nilai U_{SL} yang sudah ditentukan akan menurunkan nilai *pressure drop* aliran dua fase, hal tersebut dikarenakan menurunnya massa jenis campuran pada aliran dua fase.



Gambar 7. Grafik nilai *pressure drop* aliran dua fase dengan β konstan 0,22.

Gambar 7. menunjukkan peningkatan nilai *pressure drop* pada setiap variasi nilai U_{SL}. Peningkatan nilai *pressure drop* tersebut dikarenakan oleh meningkatnya kecepatan superfisial *liquid* serta beberapa faktor seperti elevasi, gesekan, kecepatan fluida dan lain-lain. Bentuk geometri pada *elbow* juga sangat mempengaruhi nilai *pressure drop* karena pada *elbow* terjadi perubahan arah aliran menuju sudut tertentu, hal tersebut tentunya akan menimbulkan fenomena-fenomena yang lebih kompleks lagi seperti pemisahan aliran dan perbedaan tekanan dan kecepatan pada *elbow*, sehingga dapat menimbulkan *pressure drop* yang tinggi.

Meningkatnya kecepatan *liquid* juga memperbesar *friction* antara fluida dengan pipa maupun *friction* antar fase itu sendiri sehingga nilai *pressure drop* akan cenderung naik. Selain itu kecepatan aliran berhubungan dengan *Reynold number* dari aliran tersebut dimana seiring meningkatnya kecepatan aliran maka nilai *Reynold number* aliran tersebut akan meningkat pula, sehingga *losses* aliran meningkat dan meningkatkan nilai *pressure drop* aliran tersebut.

5. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa dari hasil pengamatan pola aliran pada berbagai variasi nilai USL dan β menunjukkan pola aliran bubble flow. Pada nilai β konstan yaitu 0,22 dengan USL divariasikan pada range 0,30-0,50 m/s menunjukkan bahwa, konsentrasi bubble memiliki letak yang berbeda dimana semakin tinggi nilai USL maka bubble akan cenderung terkonsentrasi pada sisi inner elbow. Nilai Pressure drop pada aliran satu fase mengalami kenaikan pada setiap peningkatan nilai USL dimana nilai terrendah terdapat pada nilai USL 0,30 m/s sebesar 3863,325 N/m2, sedangkan nilai tertinggi yaitu pada USL 0,50 m/s sebesar 3951,35 N/m2. Hal ini berbanding terbalik dengan nilai Pressure drop pada aliran dua fase dimana nilai pressure drop terrendah terjadi pada USL 0,30 m/s dan β 0,22 yaitu sebesar 3628,591 N/m2, sedangkan nilai pressure drop tertinggi terjadi pada USL 0,50 m/s dan β 0,06 yaitu sebesar 3892,67 N/m2.

Daftar Pustaka

Crowe, C. T. and Group, F. (2006) *Multiphase Flow Handbook Edited, Hemisphere*.

Dwi Korawan, A. (2015) 'Pola Aliran Dua Fase (Air+Udara) Pada Pipa Horisontal Dengan Variasi Kecepatan Superfisial Air', *Mekanika*, 14(1), pp. 57–63. Available at: http://jurnal.ft.uns.ac.id/index.php/mekanika/article/viewFile/384/162.

Meir, G. B. (2013) 'Basics of Fluid Mechanics How to cite this book : Example ':, p. 666.

Nugraha, A. Y., Soenoko, R. and Wahyudi, S. (2014) 'Pemodelan dan Verifikasi Aliran Dua Fase (Air-Udara) di Belokan 90°', *Jurnal Rekayasa Mesin*, 5(3), pp. 225–238.

Wahyudi dan Agung Sugeng Widodo, S. (2014) 'Analisis Aliran Fluida Dua Fase (Udara-Air) melalui Belokan 45 o', *Jurnal Rekayasa Mesin*, 5(3), pp. 217–224.