Jurnal KONSTRUKSI : teKNik, infraSTRUKtur, dan Salns
Program Pascasarjana UMI

Vol. 01, No. 12 Tahun 2022
E-ISSN: 2963-5217

Studi Aliran Dua Fase Gas dan Cair Pada Belokan Pipa 90°

Muhammad Zainuddin [1*], Syahrir Habiba [2], Mahmuddin [3]

1*) Magister Teknik Mesin, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar,
cita.madani@gmail.com
2) Teknik Mesin, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar
3) Teknik Mesin, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar

Abstract

The industrial sector, such as the petroleum industry, steam power plants, chemical industry where the transfer of fluids is generally carried out through a piping system. Apart from requiring main pipes, it also requires other components such as pipe bends. This study will examine the characteristics of two-phase flow through a vertical bend pipe section. Identifying flow patterns and measuring pressure differences tested on water discharge Q1 (0.0001581 m³/s) and Q2 0.0000932 m3/s varied 5x with variations in air discharge increase. The results of observational studies obtained flow patterns, pocket and random flow patterns. The pressure distribution of the two-phase liquid and gas streams in the radial direction has the highest average value at an angle of 0°, water discharge Q3 water discharge (0.0001581 m³/s) and air variation at Q5 discharge (0.000556 m3/s) the lowest value at a 90° radial angle. Whereas in the tangential direction, the highest average value is at an angle of 150° while the lowest average highest value is at radial angles of 100°, 150° and 160° while the lowest is at angles of 55°, 30° and 20°.

Keywords: Pressure Difference, Radius Angle, Two-phase Flow Pattern

Abstrak

Bidang industri, seperti pada industri perminyakan, pembangkit tenaga uap, industri kimia dimana dalam pemindahan fluida umumnya dilakukan melalui system perpipaan. Selain memerlukan pipa-pipa utama juga memerlukan komponen lain seperti belokan pipa. Penelitian ini akan memengkaji karakteristik aliran dua fase melalui penampang pipa belokan posisi vertikal. Mengidentifikasi pola aliran dan pengukuran beda tekanan yang diuji pada debit air Q1 (0,0001581 m³/s) dan Q2 0,0000932 m3/s divariasikan 5x variasi peningkatan debit udara. Hasil studi pengamatan diperoleh pola aliran pola aliran, kantung dan acak. Distribusi tekanan aliran dua fase cair dan gas pada arah radial nilai tertinggi rata-rata pada sudut 0°, debit air debit air Q3 (0,0001581 m³/s) dan variasi udara pada debit Q5 (0,000556 m3/s) nilai terendah pada sudut radial 90°. Sedangakan pada arah tangensial, nilai tertinggi rata-rata pada sudut 150° sedangkan nilai tertinggi rata-rata terendah pada sudut radial 100°,150° dan 160° sedangkan terendah pada sudut 55°, 30°, dan 20°.

Kata kunci : Beda Tekanan, Pola Aliran Dua Fase, Sudut Radius.

1. PENDAHULUAN

Aliran dua fase adalah merupakan aliran multi fase disamping itu ada juga istilah aliran dua komponen. Persoalan aliran dua fase sudah menjadi sangat penting dalam perancangan dan teknologi keteknikan. Dalam mempelajari aliran dua fase dapat kita perhatikan atas beberapa bagian yaitu atas wujud fasenya, arah aliran dan kedudukan atau posisi saluran. Berdasarkan kedudukan saluran, ada aliran mendatar (horizontal), aliran tegak (vertikal) dan miring. Sedangkan bila ditinjau dari arah aliran terdiri dari aliran searah dan aliran berlawanan arah.

Aliran dua fase yang mengalami pola aliran yang berubah-ubah karena pengaruh interaksi antara fase, bilangan Reynolds, orientasi dan geometri pipa akan menyebabkan pressure drop juga berubah-ubah pula.

Penurunan tekanan pada pengecilan dan pembesaran saluran pada pipa berpenampang lingkaran telah banyak diteliti. Namun pada aliran dua fase udara air lebih kompleks sehingga lebih banyak permasalahan yang biasa diambil dari viskositas cairan terhadap beda tekanan pada aliran dua fase vertikal. Oleh karenanya, diperlukan peninjauan lebih mendalam lagi pada bidang mekanika fluida untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Biksono D dkk (2006) Setelah melakukan visualisasi aliran dua-fasa dan pengukuran pressure drop pada pipa spiral, hasilnya : Koefisien gesek pada aliran dua-fasa lebih besar dibandingkan data satu fase (air). Aliran transisi lebih cepat terjadi pada aliran dua-fasa, yaitu pada bilangan Reynolds (Re) antara (1.600-1.700). Efek penambahan variasi kecepatan udara (Ug). Hasil visualisasi aliran dua-fasa dengan digital camera menunjukan tempat kedudukan rata–rata butiran udara dipengaruhi oleh bilangan Reynolds (Re). Untuk nilai (Re) tinggi, yang diikuti kenaikkan nilai jarak jari–jari (r), maka letak butiran udara mendekati dinding pipa spiral (Re > 7 . 104).

Arif Y dkk (2014) dari hasil penelitian penelitiannya mengenai pemodelan dan verifikasi aliran dua fase (Air-Udara) di belokan 90° di simpumpulkan bahwa, Flow pattern yang yang terjadi di belokan 90° adalah slug. Terdapat keterkaitan antara flow pattern dengan pressure drop yaitu semakin besar proporsi volumetrik udara (β) maka bilangan Reynolds air (ReSL) semakin menurun sehingga memberikan udara untuk mengisi ruang belokan 90° yang menyebabkan pressure drop akan menurun, menurunnya pressure drop dipengaruhi dari fraksi fase yang berhubungan dengan densitas campuran (ρm). Semakin besar proporsi volumetrik udara (β) juga menyebabkan ketidak stabilan fluida air dan mempengaruhi flow pattern di belokan 90°, ketidakstabilan tersebut dikarenakan tekanan balik di belokan 90°.

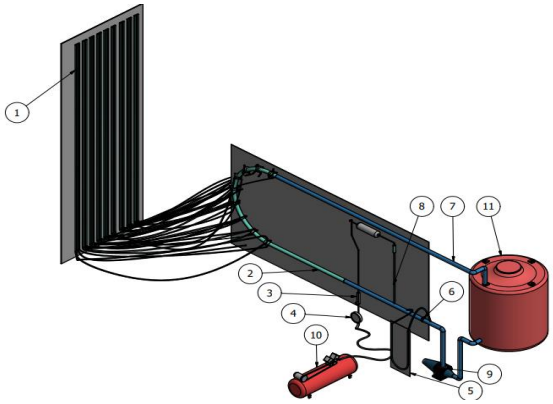
Sukamta dkk (2019) menyajikan hasil penelitiannya, mengenai korelasi signifikan antara kecepatan superfisial dan viskositas pada pola aliran dua fase dalam saluran mini dengan kemiringan 30°. Penelitian ini menggunakan pipa kaca mini berdiameter 1,6 mm dan panjang 130 mm dengan kemiringan 30°. Fluida yang digunakan adalah udara-air gliserin dengan konsentrasi 40 %, 50%, 60%, 70%. Kecepatan superfisial cair JL = 0,033 - 4,935 m/s dan kecepatan dangkal gas JG = 0,025 - 66,3 m/s. memvisualisasikan pola aliran. Dapat disimpulkan bahwa kecepatan superfisial gas/air dan viskositas cairan berpengaruh secara signifikan untuk membentuk pola aliran. Pola aliran plug, bubbly, slug annular, annular, dan churn berhasil ditemukan. Peta pola aliran menunjukkan bahwa distribusi pola aliran berbeda karena peningkatan viskositas.

2. METODE

A. Alat dan Bahan

Bahan yang Digunakan dalam penelitian ini adalah

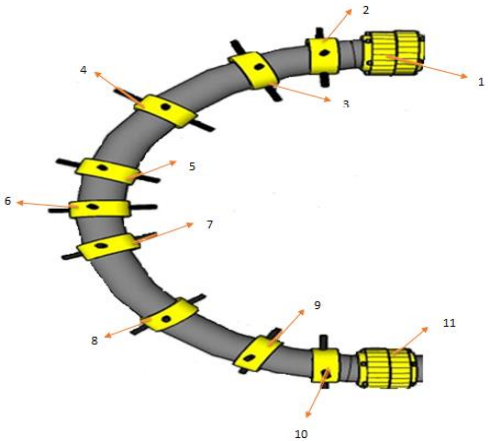
- Cairan yang digunakan adalah air dan gas.
- Pipa transparan (flexiglass) berukuran 3,5 inci dan 1 inci.
- Udara yang dipergunakan adalah udara dari kompresor pada tekanan 1 Atm.



Gambar 1 Instalasi Pengujian

Keterangan gambar :

1. Manometer belokan pipa radius 90°
2. Pipa transparan input gas dan air
3. Flowmeter input gas
4. Alat ukur preassure
5. Manometer orifice
6. Valve input orifice
7. Output pipa transparan radius 90°
8. Selang output flowmeter
9. Pompa
10. Kompressor
11. Reservoir



Gambar 2 Instalasi Pengujian 2

Keterangan gambar:

1. Water mur outlet
2. Seksi uji (α 20°)
3. Seksi uji (α 30°)
4. Seksi uji (α 55°)
5. Seksi uji (α 80°)
6. Seksi uji (α 90°)
7. Seksi uji (α 100°)
8. Seksi uji (α 125°)
9. Seksi uji (α 150°)
10. Seksi uji (α 160°)

11. Water mur intlet

Alat yang digunakan dalam penelitian ini dirakit sendiri dengan mengacu pada refrensi penelitian dan jurnal–jurnal terkait. Alat pengujian dari komponen–komponen berikut:

1. Kompressor, digunakan untuk menaikkan tekanan udara.
2. *Flow meter* berfungsi untuk mengukur debit aliran udara.
3. Orifice digunakan untuk mengukur debit air
4. Pompa, digunakan untuk mengalirkan air agar aliran air tetap stabil saat pengujian.
5. Kamera digital digunakan untuk memotret dan menvisualisasikan aliran air dan udara yang bersirkulasi.
6. Reservoir digunakan untuk menstabilkan aliran air yang keluar dari pompa.
7. Katup digunakan untuk mengatur debit air dan udara yang masuk ke seksi uji.
8. Regulator udara untuk mengatur tekanan udara.

B. Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Semua peralatan dan alat ukur dipastikan telah terpasang dengan baik.
2. Menghidupkan pompa dan menentukan debit air yang terbaca pada flow meter dengan mengatur bukaan katup.
3. Menghidupkan compressor dan mengatur debit udara dengan mengatur posisi katup
4. Bila aliran sudah stabil, maka dilakukan pengecekan grafik manometer untuk pengaturan posisi " 0 " sebagai titik batas awal nilai dari pengukuran yang akan dilakukan
5. Lakukan percobaan 1 yakni air dialirkan pada debit Q1 (0,0001581 m^3/s) dibiarkan sampai aliran stabil, kemudian diijeksi udara pada Q1 0,000416 m3/s. Setelah itu melakukan pengukuran beda tinggi air pada manometer dan mengambil gambar pola aliran yang terjadi. Setelah dianggap pengukuran itu benar, maka dengan cara yang sama dilakukan beberapa percobaan hingga debit udara Q2 0,000347 m3/s, Q3 0,000416 m3/s, Q4 0,000472 m3/s, dan Q5 0,000556 m3/s. Mencatat data sesuai dengan prosedur penelitian

3. PEMBAHASAN

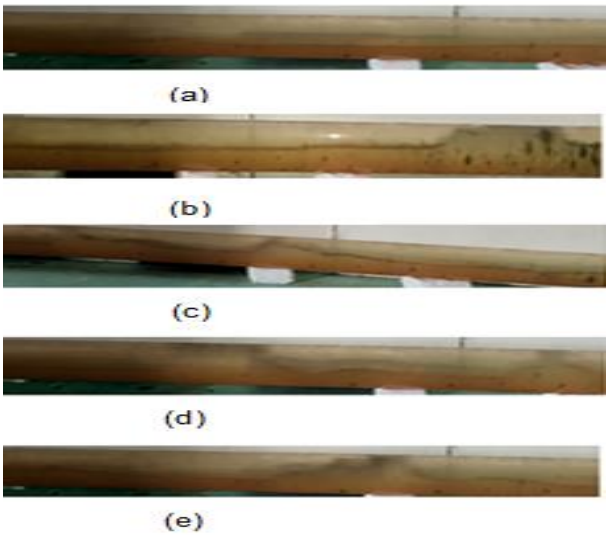
A. Analisis Pola Aliran

a) Debit air (0,0000466 m^3/s)

Pengamatan dan visualisasi pola aliran yang direkam, bahwa pembentukan pola aliran pada debit aliran air Q1 0,0000286 m^3/s, dengan injeksi udara pada debit Q1 0,000277 m^3/s, Q2 0,000347 m^3/s, Q3 0,000416 m^3/s, Q4 0,000472 m^3/s, dan Q5 0,000556 m^3/s. Pola aliran pada debit air Q1 0,0000286 m^3/s kemudian di injeksikan udara dengan debit udara Q1 0,00027 m^3/s pola aliran diperlihatkan pada **Gambar 3** Pola aliran tersebut memperlihatkan fenomena pemisahan antara aliran udara dan air yakni aliran udara yang mengalir pada sisi bagian atas dan aliran air berada pada bagian bawah seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 3 (a).** Pada debit udara yang rendah terjadinya aliran sumbat akantetapi belum sempurna, fenomena tersebut terjadi diakibatkan interaksi antara aliran udara dan aliran air masih tergolong cukup lemah jika, debit udara dinaikkan ke Q2 0,0000608 m^3/s maka akan menyebabkan permukaan aliran semakin bergelombang dikarenakan interaksi antara aliran udara dan air semakin kuat, hal ini juga terjadi pada **Gambar 3 (b)** namun yang berbeda perubahan laju alirannya fenomena ini terjadi karena pengaruh beda debit aliran udaranya saja. Pembentukan gelombang-gelombang ini saling bertumbukan karena dorongan udara yang menyebabkan luas permukaan aliran udara berubah menjadi semakin kecil sehingga

pembentukan pola aliran sumbat. pembentukan tersebut dapat diperlihatkan pada **Gambar 3** (b).

Pola aliran sumbat akan berubah menjadi pola aliran kantung udara dengan ukuran yang panjang. Pada debit aliran udara Q3 0,00027 m^3/s dan Q4 0,000472 m^3/s pola alirannya mulai berubah menjadi pola aliran kantung udara yang tidak stabil, hal ini disebabkan karena udaranya yang ada pada aliran bertumbukan sehingga menyebabkan permukaan aliran air semakin kecil sehingga terjadi pembentukan aliran sumbat terutama pada sisi belokan pipa seperti yang di perlihatkan pada **Gambar 3 (c)**. Hal ini juga terjadi pada **Gambar 3 (d),** namun cenderung alirannya lebih cepat. Sedangkan pola debit aliran udara Q5 0,000556 m^3/s dapat perlihatkan pada **Gambar 3 (e)** mengalami perubahan pola aliran dari aliran sumbat menjadi aliran gelombang yang tidak teratur (kasar), perubahan pola aliran ini disebabkan karena debit udara yang diberikan semakin bertambah yang menyebabkan luas permukaan aliran udara terbuka dan membentuk pola aliran gelombang dimana permukaan aliran menjadi lebih kasar.



Gambar 3 Pola aliran pada debit air Q1 0,0000466 m^3/s dengan variasi udara (a) Q1 0,000277 m^3/s (b) Q2 0,000347 m^3/s (c) Q3 0,000416 m^3/s (d) Q4 0,000472 m^3/s (e) Q5 0,000556 m^3/s

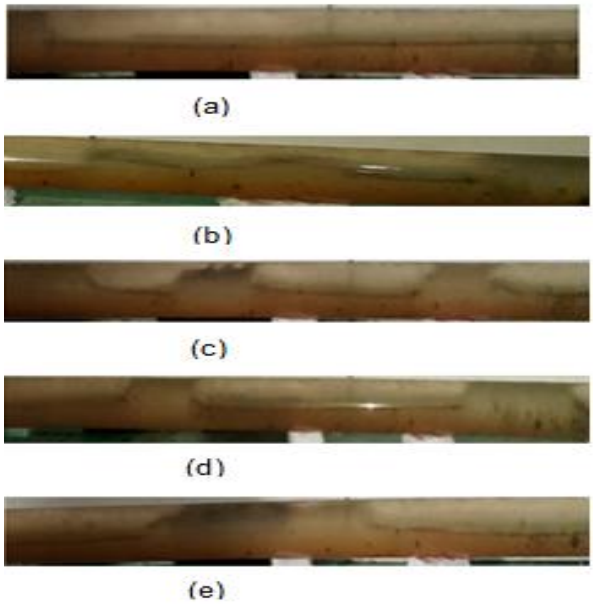
b) Debit air (0,0000932 m^3/s)

Visualisasi pola aliran yang direkam dengan kamera digital bahwa dengan peningkatan debit air. Q2 0,0000608 m^3/s, dengan untuk debit udara mulai diinjeksikan pada debit debit Q1 0,000416 m^3/s, Q2 0,000472 m^3/s, dan Q3 0,000556 m^3/s **Gambar 4** menunjukkan bahwa pada debit air Q2 0,0000932 m^3/s dengan menginjeksikan udara pada debit Q1 0,00027 m^3/s. Pada debit udara yang rendah terjadi kantung udara pada penampang pipa. Gelembung (*buble*) ini berukuran kecil bergerak menuju atas penampang pipa dan kemudian akan membentuk pola aliran kantung dengan ukuran cukup kecil saat udara diinjeksikan ke pipa penampang pola aliran ini akan nampak sempurna pada jarak jauh dari penampang pipa belokan.

Apabila debit udara semakin besar yang diberikan maka pola aliran kantung udara yang terjadi akan semakin besar dan sedikit melambat dibandingkan dengan debit udara yang kecil hal ini disebabkan karena pola aliran kantung udara melawan aliran air saat mengalir ke arah vertical melewati pipa belokan. Jika udara dinaikkan ke Q2 0,000347 m^3/s pola aliran kantung udara pada sisi pipa akan semakin panjang seperti yang diperlihatkan pada

Gambar 4 Pada daerah belokan pipa pembentukan pola aliran kantung udara ini akan begerak ke atas karena dorongan udara dari bawah yang menyebakan saling bertumbukan sehingga berbentuk gelembung-gelembung (buble) dan membentuk pola aliran kantung kecil ada pula yang nampak halus. Pola aliran kantung akan berukuran besar tedapat ditengah-tengah saluran beriring dengan bertambahnya variasi debit udara. Sedangkan pola aliran kantung udara berukuran kecil dan kadang membentuk aliran vortex terdapat pada belokan pipa dekat dinding pipa mengalir ke atas menuju output saluran.

Melambatnya kantung udara tersebut disebabkan karena melawan arah aliran air yang semakin cepat ke bawah. Fenomena ini dengan bertambahnya debit air maka pola aliran akan berbentuk memanjang serta melambatnya bergerak namun aliran kantung udara akan semakin besar dan pembentukan pola aliran *vorteks* akan terjadi pada area belokan pipa yang berbentuk arah radial pada posisi vertical. Pola aliran kantung yang melewati penampang transparant tersebut akan semakin memanjang beriring dengan bertambahnya variasi debit udara yang diberikan tertutama pada jarak yang lebih jauh. Venomena pola tersebut diperlihatkan pada **Gambar 4** berikut



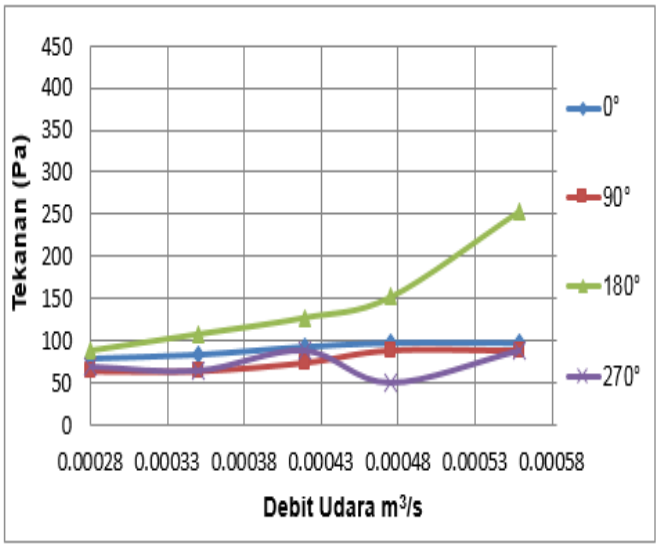
Gambar 4 Pola aliran pada debit air 0,0000932 m^3/s dengan variasi udara (a) Q1 0,000277 m^3/s (b) Q2 0,000347 m^3/s (c) Q3 0,000416 m^3/s (d) Q4 0,000472 m^3/s (e) Q5 0,000556 m^3/s

B. Penurunan Tekanan pada Sudut Radial dengan Debit Air Konstan Debit Udara Meningkat

a) Debit air (0,0000466 m^3/s) pada sudut radial

Berdasarkan hasil pengukuran tekanan untuk debit air konstan dan debit udara meningkat pada titik arah tangensial pipa sudut 0°, 90°, 180° dan 270°. Bukaan katup air debit (0,0000466 m^3/s) pada sudut radial 20°dengan peningkatan debit udara mulai dari Q1 0,000277 m^3/s, Q2 0,000347 m^3/s, Q3 0,000416 m^3/s, Q4 0,000472 m^3/s, dan Q5 0,000556 m^3/s. Kurva penurunan tekanan terhadap peningkatan debit udara pada debit air konstan yang ditunjukkan pada **Gambar 5** Menunjukkan hubungan antara penurunan tekanan (pa) dengan debit udara (m^3/s) terlihat bahwa semakin besar debit udara yang diberikan maka penurunan tekanan yang dihasilkan akan semakin berkurang. Beriring bertambahnya variasi debit udara pada titik arah tangensial pipa sudut 180° kenaikan beda tekanan yang

dihasilkan cukup tinggi saat penambahan debit udara pada Q4 0.000472 m^3/s dan Q5 0.000556 m^3/s, namun berbeda dengan pada titik arah tangensial pipa 270° saat penambahan debit udara debit Q4 0.000472 m^3/s mengalami penurunan tekanan. Berbeda dengan titik arah tangensial pipa sudut 0°, dan 90° . Beiring meningkatnya variasi debit udara tekanan yang dihasilkan terbilang konstan.



Gambar 5 Grafik hubungan antara distribusi tekanan pada arah radial, pada debit air (0,0000466 m^3/s)

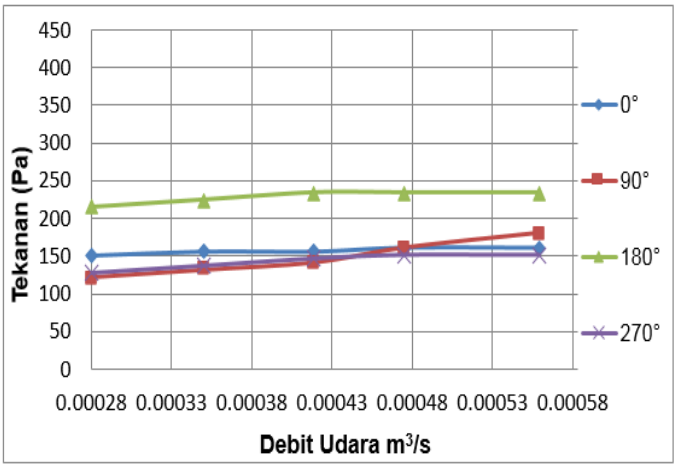
Gambar 5 menunjukkan bahwa debit udara yang lebih besar terjadi peningkatan tekanan arah sudut radial 20° pada titik arah tangensial pipa sudut 0°, 90°, 180° dan 270°. Begitupun demikian pada bukaan katup air yang lebih tinggi yakni 45 debit (0.0000932 m^3/s), 60 debit (0.0001581 m^3/s), 75 debit (0.0002032 m^3/s), dan 90 debit (0.0002616 m^3/s) semakin besarnya debit air yang diberikan kenaikan tekanan juga semakin besar.

Perubahan tekanan seiring dengan meningkatnya debit udara pada titik arah tangensial pipa pipa 180° dengan sudut radial 20° tekanan rendah karena disamping itu juga dipengaruhi oleh lintasan penampang aliran fluida saat fluida melintasi penampang pipa belokan kecepatan efektif aliran fluida tertuju pada titik yang bertepatan pada titik arah tangensial pipa tersebut yaitu titik 180° sehingga pada titik tersebut mengalami peningkatan tekanan pada setiap perubahan variasi debit udara.

b) Debit air (0,0000932 m^3/s) pada sudut radial.

Berdasarkan hasil perhitungan penurunan tekanan untuk debit air konstan dan debit udara meningkat pada titik arah radial pipa sudut 0°, 90°, 180° dan 270°. Debit air (0,0000932 m^3/s) pada sudut radial dengan peningkatan debit udara mulai dari Q1 0,000277 m^3/s, Q2 0,000347 m^3/s, Q3 0,000416 m^3/s, Q4 0,000472 m^3/s, dan Q5 0,000556 m^3/s. Kurva distribusi tekanan terhadap peningkatan debit udara ditunjukkan pada **Gambar 6**. Menunjukkan hubungan antara penurunan tekanan (pa) dengan debit udara (m^3/s) semakin besar debit udara yang diberikan maka penurunan tekanan yang dihasilkan akan semakin berkurang. Beriring bertambahnya variasi debit udara pada titik arah tangensial pipa sudut 180° kenaikan beda tekanan yang dihasilkan relative tinggi saat penambahan debit udara Q3 0.0001581 m^3/s, namun berbeda dengan penambahan debit Q4 0.000472 m^3/s dan Q5 0.000556 m^3/s perubahan tekanan nampak konstan. Pada titik arah tangensial pipa 90° saat penambahan debit udara debit Q4 0.000472 m^3/s dan Q5 0.000556 m^3/s mengalami

peningkatan tekanan. Berbeda dengan titik arah tangensial pipa sudut 0°, dan 270° udara tekanan yang dihasilkan terbilang konstan.



Gambar 6 Grafik hubungan antara distribusi tekanan pada arah radial pada debit air (0,0000932 m^3/s)

Gambar 6 menunjukkan bahwa debit udara yang lebih besar terjadi peningkatan tekanan arah sudut radial 20° pada titik arah radial pipa sudut 0°, 90°, 180° dan 270°. walaupun semakin besar debit udara yang diinjeksikan akan tetapi hanya akan menghasilkan vortex yang lebih besar saat aliran air dan udara melintasi posisi titik cincin penampang pipa belokan sehingga menimbulkan potensi besarnya vortex yang terjadi dalam penampang pipa akan menyebabkan penurunan tekanan semakin berkurang.

4. PENUTUP

Hasil analisis dan pembahasan terkait penelitian, menunjukkan bahwa:

1. Pada penelitian ini diperoleh pola aliran dua fase yaitu pola aliran kantung udara, dan acak.
2. Nilai distribusi tekanan dengan arah radial dan tangensial pada aliran dua fase cair dan gas, hasil diperoleh yaitu
3. Distribusi tekanan aliran dua fase cair dan gas pada arah radial, nilai tertinggi rata-rata pada sudut 0° sebesar 615,59 Nm dengan variasi udara pada debit Q5 (0,000556 m3/s) sedangkan nilai rata-rata terendah pada sudut radial 90°.
4. Distribusi tekanan aliran dua fase cair dan gas pada arah tangensial, nilai tertinggi rata-rata pada titik sudut 150° dengan variasi udara pada debit Q5 (0,000556 m3/s) sedangkan nilai tertinggi rata-rata terendah pada sudut radial 100°,150° dan 160° sedangkan terendah pada sudut 55°, 30°, dan 20°

5. DAFTAR PUSTAKA

Arif Yunizar Nugraha, Rudy Soenoko, 2014 “Pemodelan dan Verifikasi Aliran Dua Fase (Air-Udara) di Belokan 90” Jurnal Rekayasa Mesin Vol.5, No.3 : 225-238.

Biksono, Damawidjaya. 2006 “Karakteristik Dan Visualisasi Aliran Dua Fasa Pada Pipa Spiral.” Jurnal teknik mesin Vol. 8, No. 2,: 69 – 74

Fluida, Mekanika. 2002. “Aliran Pada Saluran Tertutup (Pipa).” : 1–23. Indonesia, Universitas et al. 2014. “penuh untuk air tawar dan larutan biopolimer.”

Korawan, Agus Dwi. 2015. “pola aliran dua fase (air + udara) pada pipa horisontal dengan variasi kecepatan superfisial air Keywords : Abstract :” 14(September): 57–63.

Latif Ngudi Wibawanto, Budi Santoso, and Wibawa Endra Juwana. 2016. "Karakteristik Aliran Dua Fase Pada Saluran Ekspansi Tiba-Tiba"Jurnal Teknik Mesin Indonesia, Vol. 11 No. 1 Hal.7-12

Sarjito, Subroto, and Arif Kurniawan. 2016. “Studi Distribusi Tekanan Aliran Melalui Pengecilan.” Jurnal Ilmiah Teknik Mesin 17(1): 8–22.

Streeter, V. L., and E. B. Wylie. 1979. “Fluid Mechanics (Seventh Ed.).”

Studi, Program et al. 2019. “Korelasi Signifikan Antara Kecepatan Superfisial Dan Viskositas Cairan Menggunakan Pola Aliran Dua Fase Pada Pipa Mini Dengan.” 8(1): 33–39.

Sukamta and Sudarja. 2019. "Korelasi SIgnifikan Antara Kecepatan Superfisial dan Viskositas Cairan Menggunakan Pola Aliran Dua Fase Pada Pipa Mini dengan Kemiringan 30." Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM MetroTURBO Vol. 8 No. 1. p-ISSN: 2301-6663,.

Suwidodo.2012." Pemantauan Rerugi Energi Aliran Dua Fase Dara Pada

Saluran Pipa Horisontal." Industrial Research Workshop and National Seminar 2012 ISBN 978-979-3541-25-9.

Sumarlin. 2000. “Aliran Dua Fase Gas Cair Melalui Pengecilan Saluran Secara Mendadak Pada Penampang Segi Empat Horizontal” Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Vol 8–22: 7(2).

Yanuar, and Damawidjaya Biksono. 2006. "Koefisien Gesek Aliran Dua Fase Pada Pipa Spiral." Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) V Universitas Indonesia, Vol. 21-23 : M2-079