

Studi Eksperimental tentang Perubahan Beda Tekanan dalam Aliran Dua Fase Cair-Cair dengan Variasi Sudut Ekspansi pada Saluran Pembesaran Mendadak

Mahmuddin^{1*}, Hasan², Muh. Syahrir Habiba³

^{1,3}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia

²Mahasiswa Program Pascasarjana Magister Teknik Mesin, Universitas Muslim Indonesia

Korespondensi: *mahmud_umitek@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh debit air terhadap perubahan beda tekanan yang terjadi pada aliran fluida kerja (solar) melalui saluran pembesaran dengan sudut ekspansi 60°, ekspansi 120°, dan pembesaran tiba-tiba. Langkah-langkah eksperimental dilakukan dengan memasang pipa ekspansi pada posisi yang ditentukan dan mengalirkan fluida kerja dengan variasi debit aliran yang berbeda. Debit aliran air bervariasi dari 0 hingga 5,0 LPM, sedangkan fluida solar memiliki rentang debit aliran 0,00025 m³/s hingga 0,00054 m³/s. Beda tekanan diukur menggunakan manometer, dan data hasil pengukuran dianalisis dan dipresentasikan dalam bentuk tabel dan grafik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi debit air yang diinjeksikan ke dalam aliran solar menghasilkan peningkatan beda tekanan yang signifikan pada saluran pembesaran dengan sudut ekspansi 60°, ekspansi 120°, dan pembesaran tiba-tiba. Beda tekanan tertinggi terjadi pada saluran dengan sudut ekspansi 60°, yaitu antara 121,911 Pa hingga 2445,600 Pa. Hasil ini signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan beda tekanan pada saluran ekspansi 120° (62,128 Pa hingga 2096,262 Pa) dan pembesaran tiba-tiba (27,889 Pa hingga 1486,393 Pa).

Kata kunci: aliran fluida kerja, debit air, debit aliran, manometer.

Abstract

This study aims to analyze the influence of water flow rate on the changes in pressure difference occurring in the flow of working fluid (diesel fuel) through expansion channels with expansion angles of 60°, 120°, and sudden expansion. Experimental procedures involve the installation of expansion pipes at specified positions and the flow of working fluid with varying flow rates. Water flow rates range from 0 to 5,0 LPM, while diesel fuel has flow rates ranging from 0.00025 m³/s to 0.00054 m³/s. Pressure differences are measured using a manometer, and the collected measurement data is analyzed and presented in the form of tables and graphs. Research findings reveal that higher injected water flow rates into the diesel fuel flow lead to a significant increase in pressure difference across the expansion channels with 60°, 120°, and sudden expansion angles. The highest-pressure difference occurs in the channel with a 60° expansion angle, ranging from 121,911 Pa to 2445,600 Pa. This result is notably higher when compared to the pressure difference in the 120° expansion channel (ranging from 62,128 Pa to 2096,262 Pa) and the sudden expansion channel (ranging from 27,889 Pa to 1486,393 Pa).

Keywords: *flow discharge, manometer, water discharge, working fluid flow.*

1. PENDAHULUAN

Mekanika fluida merupakan ilmu pengetahuan dasar teknik dengan sejumlah penerapannya dalam bidang keteknikan dan rekayasa. Ilmu ini berkembang sangat pesat berdasarkan pendekatan empiris dan eksperimental yang mempunyai ruang lingkup sangat luas, yaitu mempelajari karakteristik dan perilaku fluida baik dalam bentuk zat cair maupun gas. Sifat-sifat aliran fluida merupakan suatu hal yang sangat menarik untuk diteliti, baik fluida statik maupun fluida dinamik. Fluida cair yang mengalir melalui sebuah pipa dengan panjang tertentu menyebabkan terjadinya kerugian energi berupa penurunan tekanan (*pressure drop*) disebabkan oleh mayor losses akibat gesekan sepanjang dinding pipa maupun minor losses akibat perubahan bentuk penampang arah aliran berupa belokan, katup, sambungan ekspansi (pembesaran/pegecilan) serta besaran koefisien gesek pipa tersebut [1].

Sistem transportasi fluida melalui saluran pipa tidak lepas dari fenomena aliran multi fase. Aliran tersebut cenderung menunjukkan tekanan lokal berfluktuasi, distribusi kecepatan tidak sama atau terjadi slip antar fase pada pola aliran tertentu. Dampak dari hal tersebut, tertentu. Jika hal tersebut terjadi tidak hanya menyebabkan kerugian produk tetapi juga kerusakan lingkungan yang serius. [2]. Aliran multi fase adalah aliran yang memiliki beberapa fase yang mengalir secara bersamaan. Aliran dua fase merupakan aliran simultan dari dua fluida yang terpisah satu sama lain baik itu fluida cair dengan gas maupun fluida cair atau gas dengan partikel padat yang telah tersuspensi. Dalam aliran dua fase, terdapat beberapa kompleksitas yang dapat terjadi adalah, adanya interaksi antar tiap fase, adanya pengaruh deformasi permukaan serta pengaruh pergerakan yang terjadi antar fluida pada saat terjadi suatu aliran, pengaruh keseimbangan fase, pengaruh *pressure drop* dan lain sebagainya. Aliran dua fase juga banyak diaplikasikan dalam dunia industri, seperti pada pembangkit tenaga nuklir, industri kimia, pembangkit tenaga uap, industri perminyakan.

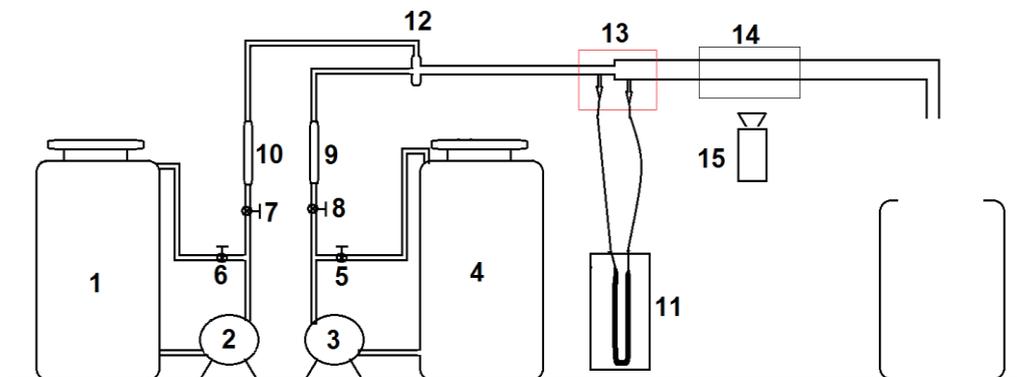
Pada perubahan area saluran secara tiba-tiba (*sudden expansion*) terjadi adanya *pressure recovery*, yaitu adanya kenaikan tekanan setelah melewati ekspansi yang disebabkan karena penurunan kecepatan fluida tersebut secara signifikan dan selanjutnya tekanan akan turun kembali. Olenya itu diperlukan kajian ulang tentang studi pola aliran dan penurunan tekanan yang melewati saluran pembesaran tiba-tiba dengan variasi sudut ekspansi. era perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat, penelitian, pengujian, dan analisa menjadi tonggak penting untuk mendorong kemajuan. Salah satu bidang yang membutuhkan perhatian khusus dalam konteks ini adalah mekanika fluida, sebuah cabang ilmu yang memiliki penerapan luas dalam berbagai industri, baik dalam skala kecil, menengah, maupun besar. Dalam dunia industri, peningkatan kinerja produk menjadi tujuan utama, dan hasil yang dicapai tak terlepas dari efektivitas mesin dan alat yang menggunakan sistem perpipaan dalam memproses produk. Dalam banyak industri, seperti industri kimia, pemindahan fluida kerap dilakukan melalui jaringan pipa kompleks. Sistem perpipaan ini tidak hanya terdiri dari pipa utama, tetapi juga memerlukan beragam komponen, seperti belokan pipa, siku, katup, perbesaran dan pengecilan saluran, serta kombinasi saluran. Dalam sistem perpipaan yang besar, kerugian yang terjadi pada komponen pipa umumnya dianggap sebagai kerugian minor bila dibandingkan dengan kerugian akibat gesekan di sepanjang saluran, yang dikenal sebagai kerugian mayor. Namun, pada sistem dengan skala yang lebih kecil, kerugian pada komponen pipa bisa menjadi kontributor utama terhadap total kerugian sepanjang lintasan aliran. Salah satu fenomena penting dalam transportasi fluida melalui saluran pipa adalah aliran multi fase, seperti kehadiran air dalam aliran minyak solar. Situasi ini sering memicu peningkatan tiba-tiba dalam perbedaan tekanan, yang berpotensi merusak saluran pipa. Aliran ini seringkali menunjukkan fluktuasi tekanan lokal, ketidakseragaman distribusi kecepatan, atau bahkan gesekan antara fase-fase yang dapat terjadi pada pola aliran tertentu. Dampaknya sangat merugikan, karena selain merusak produk,

kerusakan serius pada saluran pipa dapat berdampak pada lingkungan [2]. Aliran multi fase sendiri mencakup aliran yang melibatkan beberapa fase yang mengalir secara bersamaan. Salah satu contoh adalah aliran dua fase, di mana dua jenis fluida berbeda alir bersamaan, seperti cairan dan gas atau bahkan cairan dengan partikel padat yang terdispersi di dalamnya. Dalam aliran dua fase, beragam kompleksitas bisa muncul, termasuk interaksi antara fase-fase tersebut, pengaruh deformasi permukaan, dan pergerakan antara fluida saat aliran terjadi. Di berbagai industri, seperti pembangkit tenaga nuklir, industri kimia, pembangkit tenaga uap, dan industri perminyakan, aliran dua fase menjadi aspek penting dalam proses operasional. Beberapa penelitian mengenai aliran dua fase telah dilakukan [1, 3-7] Penting untuk ditekankan bahwa karakteristik fluida memiliki peran krusial dalam membentuk pola aliran yang terjadi. Fluida dengan viskositas tinggi cenderung membentuk pola aliran inti yang berlubang (*core annular flow*), sementara fluida dengan viskositas lebih rendah akan menghasilkan pola yang bervariasi, seperti *three layer's flow*, *stratified flow*, atau *dispersed flow*. Nilai penurunan tekanan akan tinggi saat minyak mentah dan air beremulsi secara terus-menerus. Namun, nilai penurunan tekanan akan menurun saat air mulai terpisah dari minyak dan membentuk lapisan tersendiri. Inilah alasan mengapa perlunya penelitian lebih lanjut untuk memahami karakteristik perbedaan tekanan dan pola aliran campuran minyak dan air dalam pipa horisontal.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah seperangkat instalasi pengujian (Gambar 1), tangki sebagai penampung fluida, pompa digunakan untuk sirkulasi aliran fluida, katup digunakan untuk mengatur aliran fluida, thermometer digunakan untuk mengukur temperatur fluida, *Differential Pressure Transmitter* (DPT) untuk mengukur tegangan *output*, *flowmeter* untuk mengukur debit aliran fluida, dan *mixer* untuk mencampur dua fluida yang dialirkan ke dalam pipa uji. Bahan yang digunakan adalah fluida yang digunakan adalah minyak (solar) dan air sebagai fluida kerja dan pipa ekspansi dibuat dari bahan akrilik sebagai seksi uji.



Gambar 1 Skema instalasi penelitian

Keterangan :

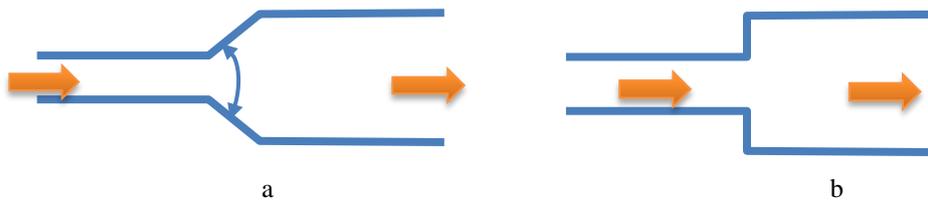
1	Tangki air	9	<i>Flowmeter</i> air
2	Pompa air	10	<i>Orificemeter</i> solar
3	Pompa minyak	11	Manometer
4	Tangki minyak	12	<i>Mixer</i>
5	Katup <i>by pass</i> minyak	13	Seksi uji
6	Katup <i>by pass</i> air	14	Daerah pengamatan pola aliran
7	Katup pengatur debit aliran air	15	Kamera

8 Katup pengatur debit aliran minyak

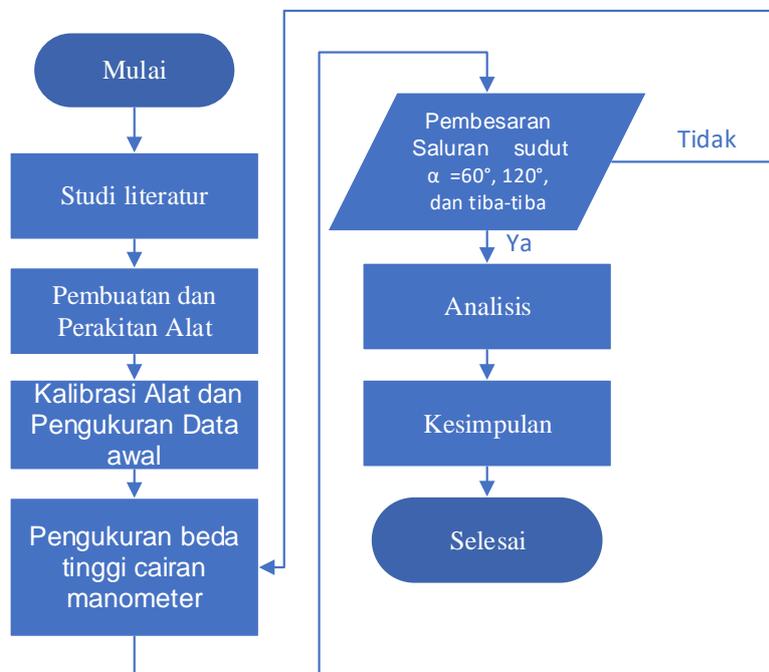
2.2 Prosedur Pengujian

2.3 Prosedur Pengujian

Penelitian ini dilakukan melalui serangkaian langkah-langkah sistematis untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Pertama-tama, penelitian ini dimulai dengan persiapan yang melibatkan penyediaan seperangkat alat penelitian yang diperlukan. Langkah selanjutnya melibatkan pemasangan pipa ekspansi dengan sudut $\alpha = 60^\circ$ (Gambar 2) pada lokasi pengukuran yang kemudian terhubung dengan manometer. Setelah itu, pompa dihidupkan untuk mengalirkan fluida kerja berupa zat cair ke dalam pipa uji. Pengukuran debit aliran dari fluida kerja akan dilakukan menggunakan *flowmeter*. Debit aliran fluida, yang mencakup variasi dari 0,00025 m³/s hingga 0,00054 m³/s untuk fluida minyak (solar) dan berbagai debit aliran untuk fluida air (mulai dari 0 LPM hingga 5,0 LPM dengan kenaikan bertahap), diukur dan dicatat. Sambil melakukan pengukuran tersebut, beda *head* tekan pada pipa uji diukur menggunakan manometer. Selain itu, temperatur fluida kerja juga diukur dengan menggunakan termokopel. Langkah berikutnya melibatkan replikasi proses yang sama untuk setiap pipa ekspansi dengan sudut $\alpha = 120^\circ$ dan juga untuk kasus pembesaran tiba-tiba (Gambar 2). Bagan alir penelitian disajikan pada Gambar 3.



Gambar 2. Pembesaran penampang; a sudut ekspansi, ($\alpha = 60^\circ, 120^\circ$) dan b. pembesaran tiba-tiba



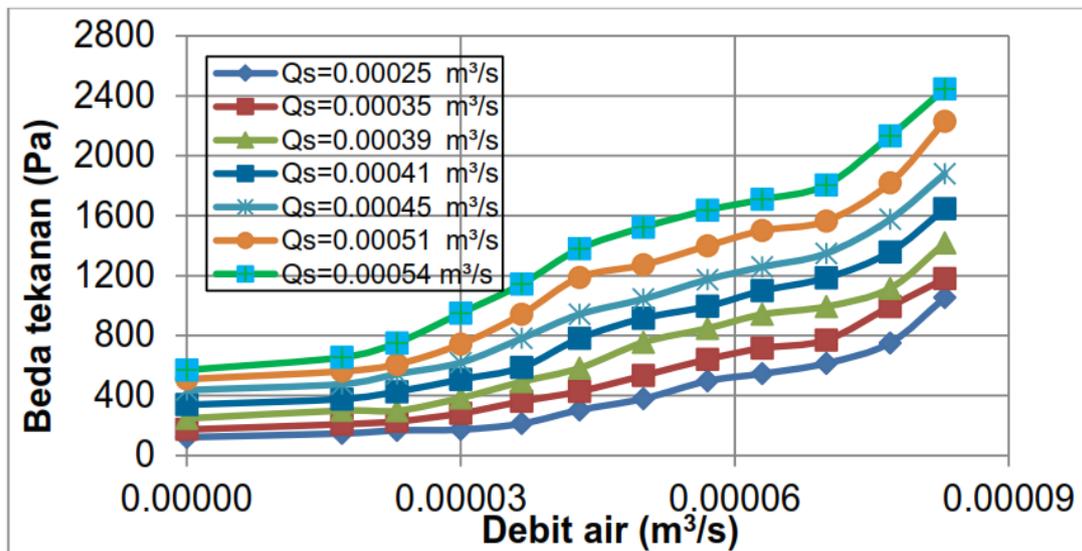
Gambar 3 Bagan alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

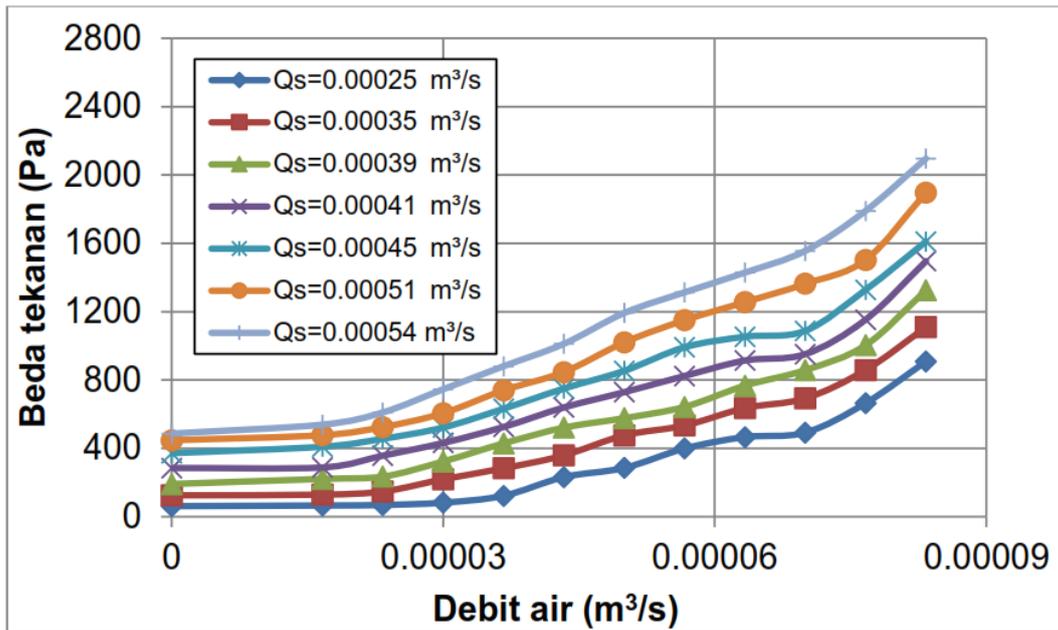
3.1 Beda Tekanan

Kurva beda tekanan terhadap debit air (Gambar 4, 5 dan 6). Beda tekanan tanpa aliran air ($jL=0$) besarnya cukup kecil hingga kecepatan air $0,000017 \text{ m}^3/\text{s}$, jika debit aliran air ditingkatkan terus menerus yang menyebabkan beda tekanan semakin besar. Pengamatan diperoleh Peningkatan karena perbedaan massa jenis maka, air yang mengalir terkonsentrasi pada sisi bagian bawah pipa dan solar mengalir pada sisi bagian pipa. Pada kurva tersebut menjelaskan bahwa pada debit cairan dijaga konstan dan debit air yang rendah akan menghasilkan beda tekanan kecil. dan beda tekanan akan meningkat ketika interaksi antar fase semakin kuat yang menyebabkan kecepatan fase cairan akan meningkat.

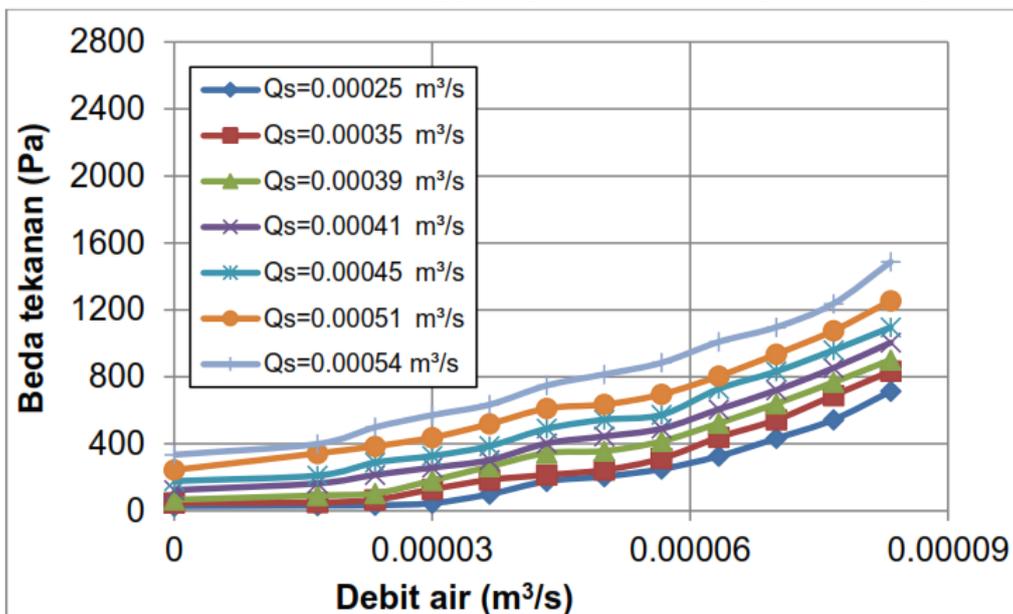
Peningkatan kecepatan air yang dipercepat oleh kecepatan air terutama pada daerah *interface*, mengakibatkan head kecepatan meningkat dan *head* tekanan turun. Hal tersebut akan memperbesar beda tekanan aliran. Peningkatan debit cairan dapat memperbesar head kecepatan dan head tekan menurun, yang mengakibatkan beda tekanan meningkat. Dalam hal ini berdasarkan persamaan Bernoulli dan kontinuitas, kecepatan fluida akan mencapai nilai maksimum dan tekanannya terendah, fenomena ini dapat terjadi pada luas penampang aliran yang kecil atau *vena contracta*. Dalam kasus pembesaran luas penampang, kecepatan cairan akan turun setelah melewati luas penampang kecil dan tekanan akan meningkat. Walaupun demikian, pengaliran dapat berlangsung terus-menerus seperti yang dijelaskan pada persamaan energi. Penurunan tekanan yang terjadi pada daerah transisi setelah melewati penampang kecil, di mana akan terjadi *vortex* dan separasi aliran yang menyebabkan kerugian energi cukup tinggi yang mengakibatkan beda tekanan meningkat.



Gambar 4 Kurva beda tekanan terhadap peningkatan debit air dengan sudut ekspansi 60°



Gambar 5 Kurva beda tekanan terhadap peningkatan debit air dengan sudut ekspansi 120°



Gambar 6 Kurva beda tekanan terhadap peningkatan debit air dengan pembesaran tiba-tiba

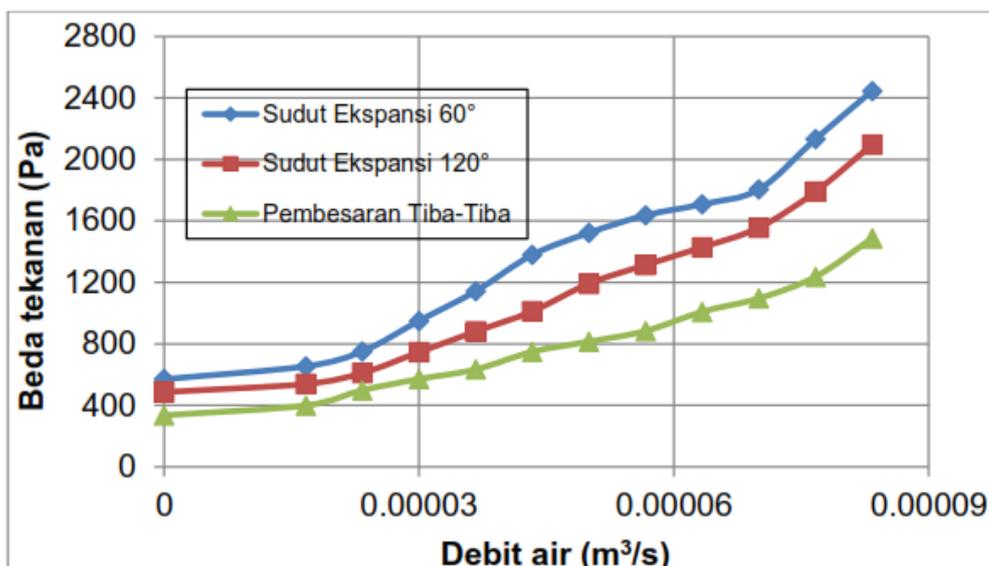
3.2 Perbandingan Beda Tekanan Terhadap Sudut Ekspansi

Kurva perbandingan beda tekanan yang bersumber dari data hasil perhitungan untuk pembesaran sudut ekspansi 60°, 120° dan penampang pembesaran tiba-tiba, selanjutnya dibuat grafik seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7 dan 8. Efek viskositas cairan dalam aliran akan menimbulkan gesekan antara partikel fluida dengan partikel fluida lain dalam hal ini solardan air terutama di daerah *interface*, serta gesekan antara partikel fluida dengan *solid surface* yaitu

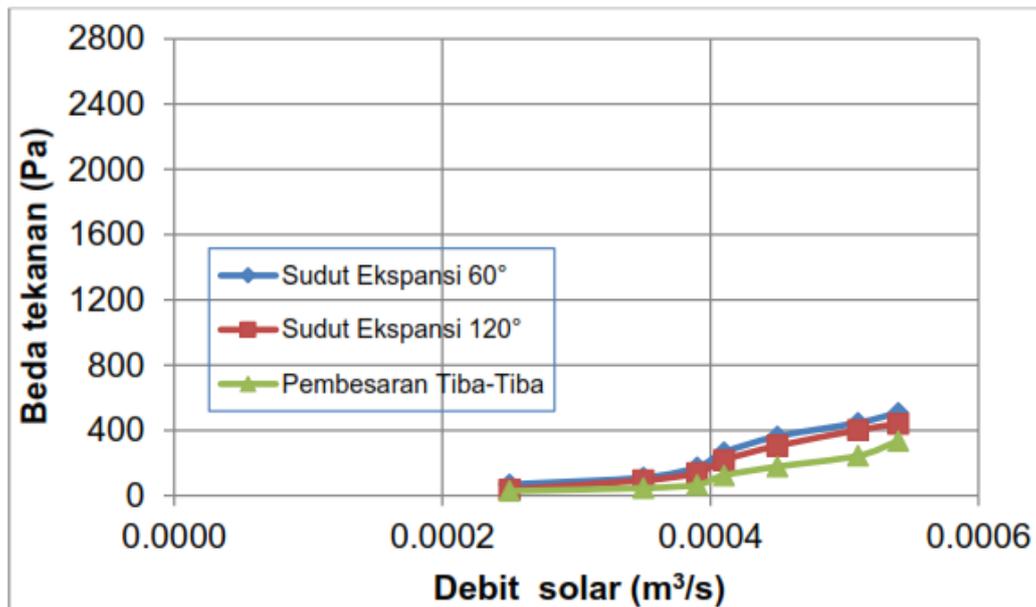
gesekan partikel solar dengan permukaan dinding pipa sisi atas dan gesekan air terhadap permukaan sisi bawah pipa. Gesekan tersebut akan menimbulkan tegangan geser dan menimbulkan gerakan acak antar partikel yang diteruskan ke arah *downstream* yang membentuk *vortex* dimana cairan terjadi rotasi pertikelnya. Berdasarkan hal tersebut, bahwa pada sudut ekspansi 60° seperti pada Gambar 3 dijelaskan bahwa perubahan luas penampang tidak secara gradual, di daerah ekspansi kecepatan fluida (solar dan air) dimana kecepatan kedua fluida tersebut meningkat yang mengakibatkan energi tekan menjadi rendah. Hal tersebut yang menyebabkan beda tekanan lebih besar dibandingkan dengan pembesaran dengan sudut ekspansi 120° dan pembesaran tiba-tiba.

Pada daerah ekspansi dengan sudut 60° efek viskositas cairan pengaruhnya akan lebih rendah sehingga kecepatan aliran lebih tinggi dibandingkan efek viskos aliran melewati pembesaran penampang sudut ekspansi 120° dan pembesaran tiba-tiba, yang menyebabkan kecepatan aliran lebih rendah. Dan aliran yang memiliki efek viskositas yang kuat aliran lebih stabil dengan tingkat acak partikel lebih rendah serta beda tekanan menjadi rendah. Sedangkan kurva perbandingan beda tekanan aliran melalui pipa pembesaran dengan sudut ekspansi 60° , 120° dan pembesaran tiba-tiba dengan peningkatan debit air dan debit solar konstan dapat dilihat pada Gambar 6, sedangkan Gambar 7 memperlihatkan beda tekanan tanpa debit aliran air dengan peningkatan debit solar. Karakteristi beda tekanan yang diperoleh dalam penelitian ini telah dijelaskan dalam penelitian sebelumnya oleh Yohana, et al. [8] walaupun dalam penelitiannya menggunakan fase *air-crude oil* yang melewati pipa *sudden expansion*.

Seperti yang dijelaskan sebelumnya Yohana, et al. [8] melakukan suatu penelitian tentang aliran dua fase *air-crude oil* melewati pipa *sudden expansion*. Karakteristik tekanan aliran fluida pada daerah *downstream* akan mengalami peningkatan yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan daerah *upstream*. Hal ini dikarenakan karena kecepatan aliran yang menurun sehingga menyebabkan kenaikan tekanan secara *gradual*. Hubungan antara *pressure drop* pada daerah *sudden expansion* untuk berbagai variasi fraksi volume minyak dalam aliran, viskositas aliran bertambah dengan bertambahnya campuran *crude oil*, dan menyebabkan tegangan geser dinding meningkat dan *pressure drop* akan meningkat pada daerah *sudden expansion*.



Gambar 7 Kurva perbandingan beda tekanan untuk 3 (tiga) seksi uji pada debit solar $0.00054 \text{ m}^3/\text{s}$



Gambar 8 Kurva perbandingan beda tekanan untuk 3 (tiga) seksi uji tanpa debit aliran air

4. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Semakin tinggi debit air yang diinjeksikan ke dalam aliran solar akan menghasilkan beda tekanan semakin besar yang melewati saluran pembesaran dengan sudut ekspansi 60°, ekspansi 120° dan pembesaran tiba-tiba.
2. Beda tekanan yang paling tinggi terjadi pada aliran yang melewati pembesaran dengan sudut ekspansi 60° sebesar 121.911 Pa hingga 2445,600 Pa, bila dibandingkan dengan beda tekanan pada aliran yang melewati saluran pembesaran dengan sudut ekspansi 120° sebesar 62,128 Pa hingga 2096,262 Pa dan pembesaran tiba-tiba sebesar 27,889 Pa hingga 1486,393 Pa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Awaluddin, S. Wahyudi, and A. S. Widodo, "Analisis aliran fluida dua fase (udara-air) melalui belokan 45°," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 5, no. 3, pp. 217-224, 2014.
- [2] S. Suwidodo, "Pemantauan rerugi energi aliran dua fase dara pada saluran pipa horisontal," in *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 2012, vol. 3, pp. 225-233.
- [3] R. D. Hidayat, "Kajian eksperimental karakteristik aliran dua fase udara-akuades campuran butanol 3% pada saluran kecil posisi kemiringan 40°," Sarjana Skripsi, Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta, 2020.
- [4] J. Jalaluddin, S. Akmal, Z. Nasrul, and I. Ishak, "Analisa profil aliran fluida cair dan *pressure drop* pada pipa L menggunakan metode simulasi *computational fluid dynamic* (CFD)," *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, vol. 8, no. 1, pp. 97-108, 2019.
- [5] Mahmuddin, "Studi eksperimental penurunan takanan aliran melewati belokan pipa horizontal dengan variasi rasio R/D," *Jurnal Teknologi*, vol. 18, no. 1, pp. 45-51, 2018.

-
- [6] M. Mustakim, I. Indarto, and P. Purnomo, "Pengurangan intensitas fluktuasi tekanan pada pembesaran mendadak aliran udara-air searah horisontal dengan penempatan ring," *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, vol. 1, no. 1, pp. 22-29, 2016.
- [7] S. Sukamta, A. R. Ilham, and S. Sudarja, "The investigation of void fraction of two-phase flow air-water and glycerine (0-30%) in the capillary pipe with slope of 50 to horizontal position," *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, vol. 20, no. 1, pp. 8-17, 2019.
- [8] E. Yohana, A. Siregar, and Y. W. Aditya, "Kaji eksperimental aliran dua fase *air-crude oil* melewati pipa *sudden expansion*," in *Prosiding Seminar Sains Nasional dan Teknologi*, 2014, vol. 1, no. 1.
-