

PENGARUH ALIRAN DUA FASA GAS-CAIR TERHADAP FLUKTUASI GAYA PADA DINDING PIPA HORIZONTAL

Muhammad Irsyad

Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung

email: irsyad71@unila.ac.id

Abstract

One of the causes damage to the pipeline is vibration caused by fluctuation in the flow. Two-phase flow of liquid - gas at high pressure will provide a fluctuating impact load. Fluctuations in stream flow patterns are shown by the form. It is necessary to note the fluctuation force on a straight pipe wall in accordance with the flow pattern is formed. This study uses two-phase flow by varying the flow of air and water. Variations of water flow are 5,10,15, 20, 25, 30 and 35 lpm. While the variations of air flow used are 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, and 50 lpm. The sensor used a strain gauge type GFCA 3-50 to read the strain in the pipe. The results indicate that the greatest force at the time of the bubble flow pattern is 0.143 N and its value is relatively stable. While the slug flow pattern shows the force generated more fluctuations than the other flow patterns.

Keywords: *Air-liquid two phase flow, Vibration, Force, Flow pattern, Strain gauge*

PENDAHULUAN

Di industri khususnya pada bagian boiler, kondensor, evaporator, reaktor nuklir, pencairan gas, dan lain-lain aliran dua fasa cair gas banyak dijumpai. Omar dkk (2003), menjelaskan, tingkat kompleksitas aliran ini bukan hanya disebabkan oleh banyaknya variabel yang terlibat, tetapi juga karena pada aliran dua fasa terdapat dua parameter baru yaitu; fraksi hampa dan pola aliran. Riverin dkk (2006), mendapatkan satu efek yang muncul pada aliran dua fasa berkaitan dengan pola aliran adalah adanya fluktuasi aliran karena bercampurnya fasa gas dan fasa cair yang tidak homogen sehingga densitas aliran pun tidak homogen yang dapat menimbulkan fluktuasi gaya (*fluctuating forces*) dan faktor lainnya.

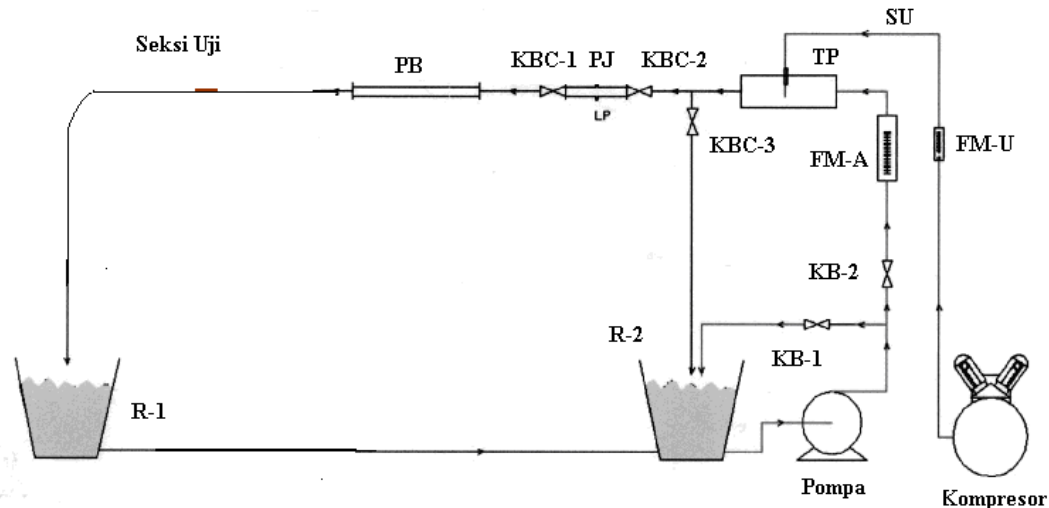
Fluktuasi aliran dipengaruhi oleh pola aliran yang terbentuk. Sedangkan pola aliran berhubungan dengan kualitas uap dan fraksi hampa. Fluktuasi aliran yang terjadi terus menerus pada percabangan pipa akan memberikan beban dampak secara acak pada titik percabangan

tersebut, Wang dkk (2002). Proses ini mirip dengan peristiwa *water hammer*. Beban dampak secara acak ini akan menghasilkan getaran (*flow-induced vibration*) pada pipa. Akibat pembebanan dampak secara acak yang berlangsung terus menerus bisa menyebabkan kerusakan pada pipa, terutama pada daerah diskontinuitas, seperti pada sambungan percabangan, dan belokan, Ugural dkk, (1999). Kerusakan pada pipa disebabkan oleh patah lelah (*fatigue*) yang terjadi akibat pembebanan siklus dalam waktu yang cukup lama, dan *fretting-wear*, yaitu penipisan permukaan material akibat kontak dua material solid ketika terjadi gerak osilasi dengan amplitudo kecil, Wang dkk (2002). Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa, amplitudo getaran maksimum yang terjadi akibat fluktuasi aliran pada belokan pipa horizontal adalah pada saat pola aliran yang terbentuk sumbat liquid, Irsyad (2009). Sementara pada dinding pipa pengecilan penampang amplitudo getaran maksimum terjadi pada pola aliran strata licin, Irsyad (2009).

Untuk mencegah dan mengatasi kegagalan pada pipa lurus perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui gaya yang bekerja pada dinding pipa akibat aliran dua fasa gas-cair. Diharapkan informasi hasil penelitian ini bisa bermanfaat untuk memprediksi getaran pada dinding pipa lurus dengan diameter dan material yang berbeda.

METODE

Pengujian dilakukan pada sistem pengujian aliran dua fasa, dimana dinding pipa horizontal dilengkapi *strain gauge* seperti pada gambar 1.

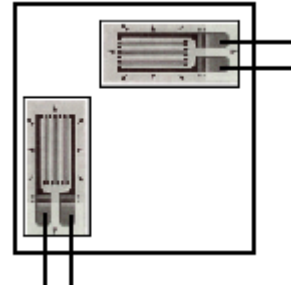


Gambar 1. Skema instalasi pengujian

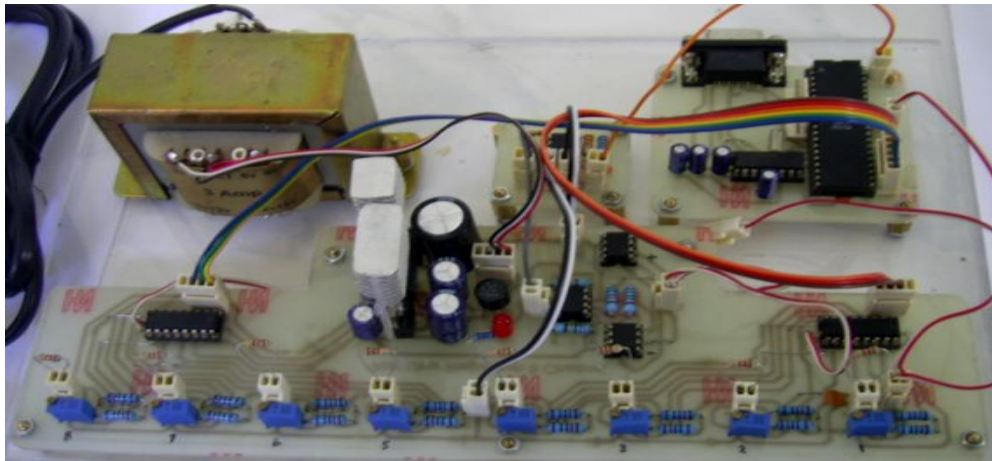
Keterangan Gambar 1:

- 1) FM-U : *Flowmeter* udara untuk mengetahui dan mengatur debit udara yang akan masuk ke tabung pencampur (TP)
 - 2) FM-A : *Flowmeter* air untuk mengetahui debit air yang akan masuk ke tabung pencampur (TP)
 - 3) KB-1 : Katup bola sebagai *bypass*
 - 4) KB-2 : Katup bola berfungsi mengatur debit air yang akan dilewatkan ke *flowmeter* air
 - 5) TP : Tabung pencampur berfungsi untuk mencampurkan aliran udara dan aliran air agar diperoleh aliran dua fasa yang bercampur dengan baik
 - 6) PJ : Pipa penangkap pada metode katup menutup cepat, berfungsi untuk mengukur fraksi hampa dimana pada bagian atas dan bagian bawahnya terdapat lubang
 - 7) LB : Lubang pada bagian atas dan bagian bawah pipa penangkap yang berfungsi untuk mengeluarkan fluida cair yang terjebak
 - 8) Seksi uji BPH : Seksi uji pipa horizontal, sebagai seksi uji momentum yang akan ditinjau
 - 9) R-1 dan R-2 : Reservoir 1 dan reservoir 2 berfungsi sebagai tangki penampungan air dan sirkulasi aliran
 - 10) Pompa : Digunakan untuk mengalirkan air yang digunakan dalam penelitian
 - 11) Kompresor : Digunakan untuk mengalirkan udara.
- Alat yang digunakan untuk mengukur regangan adalah sensor *strain gauge* yang khusus digunakan untuk mengukur perubahan regangan yang terjadi pada

pipa. Untuk jenis pipa plastic (PVC) menggunakan sensor *strain gauge type* GFCA-3-50 seperti yang terlihat pada Gambar 2. Penggunaan *interface Amplifier* yang berfungsi sebagai *power supply* sensor, penguat sinyal sensor dan *socket interface* sebagai penghubung ke set komputer dapat dilihat pada Gambar 3 dan kemudian data regangan akan ditampilkan berupa grafik pada sebuah monitor.



Gambar 2. *Strain gauge*



Gambar 3. *Interface Amplifier*

Strain gauge digunakan untuk mengukur perubahan regangan mekanik yang direkatkan ke objek, dan akan memberi perubahan tahanan ketika objek diberi beban.



Gambar 4. Posisi *strain gauges* pada seksi uji

Perubahan dimensi pipa (panjang dan diameter) akan meningkatkan tahanan karena persamaan tahanan listrik pada suatu konduktor adalah

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1)$$

dengan : R = tahanan

ρ = tahanan jenis

l = panjang

A = luas penampang

Sedangkan untuk hubungan antara perubahan tahanan dan regangan pada *strain gauge* ditunjukkan dengan:

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta R/R}{G_f} \quad (2)$$

Di mana ε_a adalah regangan aksial, L adalah panjang nominal dari *strain gauge*, R adalah tahanan nominal dari *strain gauge* dan G_f adalah *gauge factor*. ΔL dan ΔR adalah perubahan panjang dan perubahan tahanan *strain gauge*.

Tegangan (*stress*) di definisikan sebagai gaya F persatuan luas A . pada dasarnya tegangan yang terjadi disebabkan oleh dua hal yaitu tarikan yang disebut tegangan tarik, dan tekan yang disebut tegangan tekan. Untuk batang atau pipa yang homogen tegangan yang terjadi dikatakan tegangan terbagi rata. Besar dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Besar regangan yang terjadi pada batang atau pipa dapat langsung di ukur dengan menggunakan sebuah sensor *strain gauge* yang mampu mengukur dengan akurat. Analisis pengukuran regangan yang terbaca pada pada sensor *strain gauge* dengan menggunakan prinsip tegangan triaksial, seperti yang ditunjukkan pada persamaan 4.

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} \left(\sigma_x - \nu \sigma_y \right) \quad (4)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} \left(\sigma_y - \nu \sigma_x \right)$$

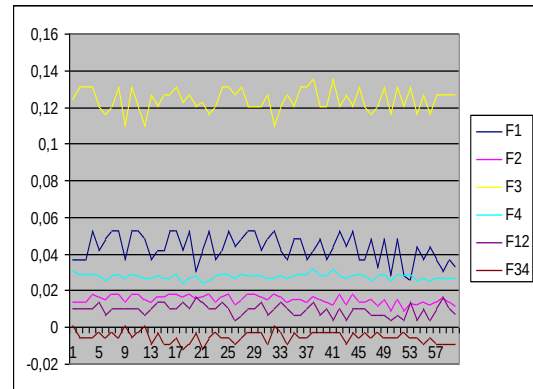
Maka nilai tegangan diperoleh dengan persamaan :

$$\sigma_x = \frac{E}{(1-\nu^2)} \left(\varepsilon_x + \nu \varepsilon_y \right) \quad (5)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{(1-\nu^2)} \left(\varepsilon_y + \nu \varepsilon_x \right)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil penelitian ini berupa regangan dari empat strain gauge yang dipasang. Gaya yang bekerja pada pipa akibat tekanan fluida didapat setelah menghitung tegangan normal dari regangan yang terbaca *strain gauge*. Gaya yang bekerja pada pipa akibat aliran dua fasa gas-cair diantaranya adalah gaya tumbukan (impact) dan gaya geser, pada penelitian ini gaya yang dapat diketahui pada pipa yaitu gaya pada dinding atas dan pada dinding samping sesuai sengan posisi sensor, sensor 1 diposisikan pada dinding bagian samping dan gaya yang didapat adalah F1, F2, dan F12. Dimana F1 adalah gaya yang bekerja dalam arah radial, dan F2 gaya yang bekerja dalam arah Y serta F12 adalah gaya geser . sedangkan sensor 2 ditempatkan pada dinding bagian atas dengan gaya yang didapat adalah F3, F4, dan F34. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.

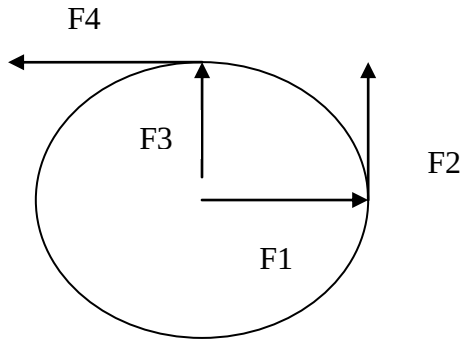


Gambar 5. Grafik gaya yang terjadi pada pipa horizontal.

Dari kesemua gaya yang diakibatkan oleh aliran dua fasa gas-cair pada pipa horizontal, yang mempunyai pengaruh ke getaran yaitu F1 dan F3, karena masing-masing gaya tersebut merupakan gaya yang langsung menumbuk dinding pipa.

Fluktuasi Gaya yang terjadi pada dinding pipa horizontal berdasarkan hasil pengolahan data dapat dilihat dalam bentuk grafik fluktuasi gaya dengan koordinat x untuk waktu dan y untuk gaya. Fluktuasi gaya yang terjadi pada dinding pipa horizontal adalah acak, tidak harmonik. Dimana grafik tersebut merupakan fungsi acak terhadap waktu, yang nilai sesaatnya selalu berubah pada titik yang sama dan dengan tren yang sama pula (nilai gaya tersebut akan terulang pada waktu yang berbeda pada titik yang sama). Ketidakhomogenan ini timbul akibat adanya ketidakstabilan aliran atau osilasi aliran, baik karena ketidakhomogenan densitas aliran, fluktuasi tekanan aliran turbulen, maupun waktu dan besar tumbukan gelombang yang tidak seragam. Hal ini terbukti dengan hasil pengolahan data bahwa fluktuasi gaya pada dinding menunjukkan nilai yang berbeda-beda untuk setiap variasi.

Pada penelitian ini, gaya yang mempunyai pengaruh terhadap terjadinya getaran akibat ketidakstabilan aliran adalah gaya yang langsung menumbuk dinding pipa dalam arah tegak lurus, seperti yang terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Arah vektor gaya pada pipa horizontal

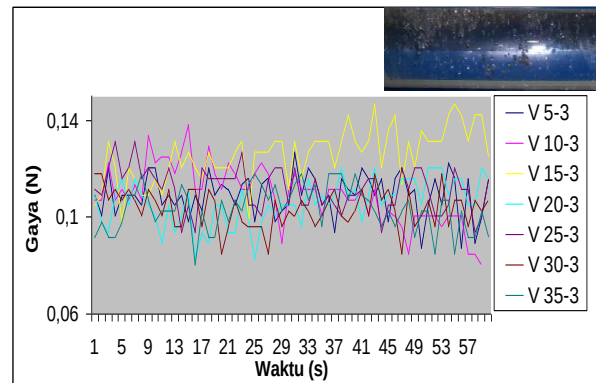
Pada pengujian ini gaya yang di hitung pada dinding pipa adalah F_1 dan F_3 , dimana F_1 adalah gaya tumbukan pada dinding sisi samping dan F_3 adalah gaya tumbukan pada dinding sisi atas pipa. Berdasarkan hasil pengolahan data yang ada terbukti bahwa hampir semua variasi menunjukkan angka gaya tumbukan tertinggi pada dinding pipa sisi atas yaitu F_3 . Dari hasil fluktuasi gaya tersebut dilihat pengaruhnya terhadap pola aliran, fraksi hampa dan kecepatan aliran

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap visual pola aliran dan fluktuasi gaya yang terjadi. Masing-masing pola aliran yang terbentuk memberikan respon yang berbeda. Dan pada analisis disini hanya ditampilkan untuk fluktuasi gaya yang terbesar saja dari setiap variasi debit air. Dari beberapa pola aliran aktual yang terjadi diperoleh pengaruh terhadap fluktuasi gaya adalah; pola aliran gelembung, pola aliran kantung, pola aliran strata licin, pola aliran strata gelombang dan pola

Pola Aliran Gelembung (*Bubble*)

Pola aliran gelembung terjadi pada kondisi aliran yang relatif stabil yaitu pada saat debit udara yang kecil, dan gaya rata-rata terbesar terjadi pada variasi debit air 15 lpm dan udara 3 lpm yang dapat dilihat pada Gambar 7. Dimana gaya maksimumnya sebesar 0,1469 N dengan fraksi hampa 0,17. Hal ini terjadi karena gelembung udara menempati ruang

tengah dari penampang pipa sehingga gaya tumbukan yang terjadi di dinding pipa diakibatkan oleh air yang mempunyai massa jenis yang lebih besar.. Dan untuk variasi yang lain terjadi ketidakstabilan aliran yang menyebabkan gaya tumbukan pada dinding pipa lebih berfluktuatif karena pada titik yang sama tumbukan terjadi akibat udara dan pada waktu yang berbeda tumbukan terjadi diakibatkan oleh air umumnya terjadi akibat dari ketidakstabilan muka-batas kedua fasa dan selain ketidakstabilan aliran, peningkatan fluks massa total aliran (G_{tot}) juga mempengaruhi peningkatan fluktuasi gaya karena laju massa atau debit dan fluks massa total aliran memiliki hubungan yang berbanding lurus terhadap gaya impak aliran pada dinding pipa.



Gambar 7. Grafik fluktuasi gaya pada aliran gelembung (*bubble*).

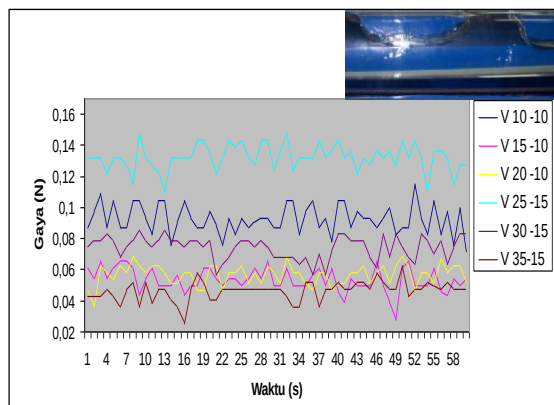
Pola aliran kantung gas (*plug*)

Pola *plug*-tunggal merupakan transisi gelembung sehingga memiliki ketidakstabilan dan fluks massa total yang lebih besar daripada pola gelembung pada debit air yang sama. Oleh karena itu, getaran yang ditimbulkan pun lebih besar.

Pada Gambar 8, terlihat bahwa semakin tidak stabil pola aliran *plug* dan semakin besar fluks massa aliran, maka fluktuasi gaya yang dihasilkan semakin besar. Fluktuasi gaya terbesar yang terjadi akibat pola ini adalah 0,143 N dengan fraksi hampa 0.375. Namun berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh terlihat

bahwa terjadi penurunan fluktuasi gaya ketika ketidakstabilan aliran menurun yang ditandai dengan bentuk pola *plug* yang lebih kecil, muka-batas fasa air-udara lebih licin.

Dari gambar tersebut juga terlihat gaya impak terbesar terjadi pada variasi debit air 25 lpm dengan debit udara 15 lpm, namun nilainya relatif tidak terlalu berbeda (stabil). Hal ini disebabkan karena variasi ini mampu membentuk kantung gas yang lebih besar, dibanding dengan variasi yang lain untuk pola aliran *plug*, dan kantung gas yang terbentuk tersebut lebih besar kemungkinannya untuk menumbuk dinding pipa, sehingga gaya yang ditimbulkan lebih besar. Sedangkan gaya yang berfluktuatif terjadi pada debit air 10-10 lpm, terjadi karena perbandingan laju massa gas terhadap laju masa total dalam saluran lebih kecil, oleh sebab itu fluida yang memberikan tumbukkan pada dinding pipa saling silih berganti. Dengan maksud bahwa terjadi pergantian beban penumbuk (*indentor*) dari air menjadi gas atau sebaliknya yang memberikan beban impak pada dinding pipa. Sehingga terlihat gaya yang ditimbulkan lebih berfluktuatif.

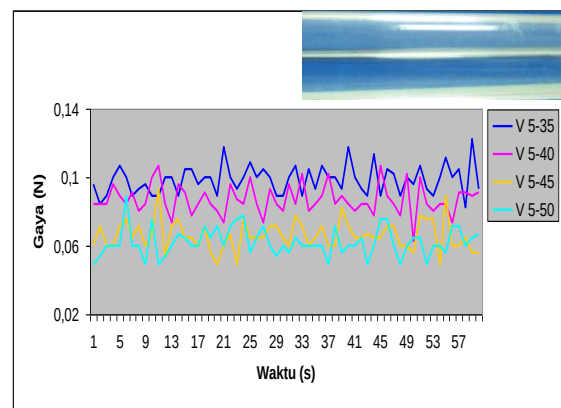


Gambar 8. Grafik fluktuasi gaya pada aliran Kantung gas (*plug*)

Pola aliran Strata licin (*stratified*)

Pada penelitian ini pola aliran strata licin terjadi pada debit air rendah dan udara tinggi. Aliran ini dicirikan dengan aliran cair mengalir pada bagian dasar saluran dengan aliran gas di atasnya. Kedua fasa ini terpisah sempurna. Aliran

strata licin terjadi pada rasio kecepatan superfisial gas terhadap air bekisar antara 5 hingga 10. peningkatan aliran gas akan menimbulkan gelombang batas-muka (*interfacial waves*) dan pemecahan pola (*breakdown of regime*). Pada penelitian ini pola aliran strata licin tidak tunggal melainkan selalu beiringan dengan aliran sumbat (*slug*). Pada awalnya strata licin terbentuk dari pecahan aliran kantung gas akibat adanya penambahan debit gas. Pada Gambar 9 terlihat bahwa gaya pada aliran strata licin berkisar antara 0,004 N hingga 0,11 N.

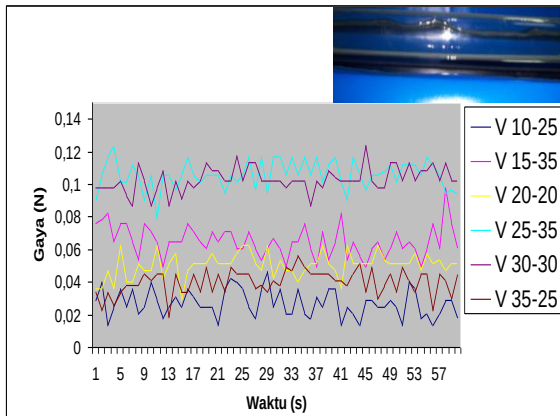


Gambar 9. Grafik fluktuasi gaya pada aliran strata licin (*stratified*)

Pola aliran strata gelombang (*stratified wavy*)

Aliran strata gelombang terjadi karena besarnya kecepatan udara menimbulkan ketidakstabilan pada muka-batas fasa air-udara sehingga terbentuk tonjolan-tonjolan yang terus berkembang menjadi gelombang dengan peningkatan kecepatan udara. Oleh karena itu, aliran strata ini disebut strata gelombang. Pola strata gelombang (*stratified wavy*) tidak terjadi sendiri, tetapi selalu beriringan dengan pola aliran yang lain. Dari Gambar 10, terlihat bahwa gaya yang terbesar terjadi pada aliran strata gelombang ini adalah pada variasi air-udara 25 lpm dan 35 lpm hingga mencapai 0,12N. Hal ini terjadi karena pada kondisi tersebut rasio kecepatan superfisial udara terhadap air lebih tinggi sehingga tumbukkan yang

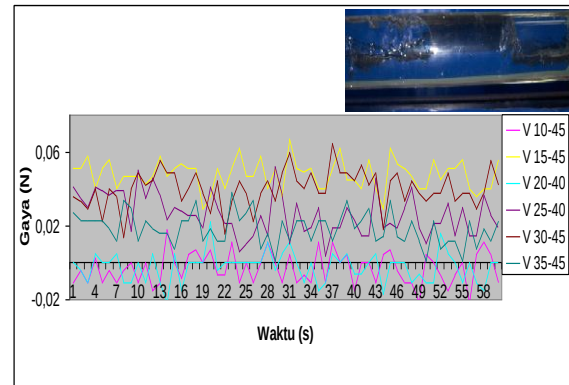
diterima dinding pipa lebih besar dalam batas selisih debit udara dengan air tidak lebih dari 10 lpm. Variasi debit air-udara 10 lpm dan 25 lpm menunjukkan angka terendah tetapi mempunyai sifat tidak stabil yang selalu berfluktuasi. Ini terjadi karena perbedaan debit yang tidak terlalu besar sehingga aliran strata gelombang acak.



Gambar 10. Grafik fluktuasi gaya pada aliran strata gelombang (*stratified*)

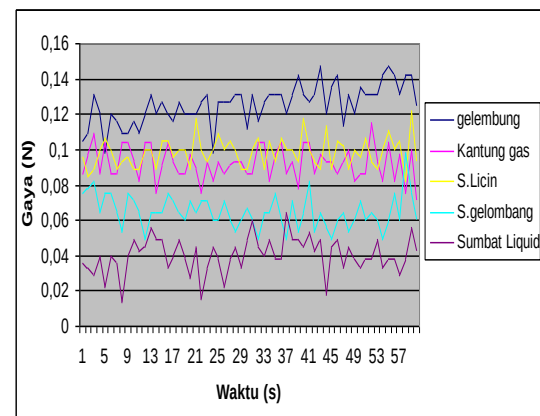
Pola aliran sumbat liquid (*slug*)

Aliran sumbat liquid (*slug*), yang ditandai dengan amplitudo gelombang yang besar hingga menyentuh bagian atas saluran. Sehingga fluktuasi gaya yang terbentuk pun lebih bervariasi berkisar ar -0,02 N hingga 0,06 N seperti yang terlihat pada Gambar 11. Akibat fluktuasi alirannya makin tidak teratur dimana amplitudo gelombang sering menyentuh bagian atas pipa dengan kecepatan aliran dan debit udara yang besar. Aliran sumbat liquid sangat berpengaruh terhadap fenomena getaran yang terjadi.



Gambar 11. Grafik fluktuasi gaya pada aliran sumbat liquid (*slug*)

Secara keseluruhan fluktuasi gaya yang terbentuk akibat ketidakstabilan aliran dua fasa pada dinding pipa horizontal maksimum terjadi pada pola gelembung dengan nilai mencapai 0,143 N, namun tidak merata untuk semua pola aliran gelembung dengan tren lebih stabil. Sedangkan untuk fluktuasi gaya yang mempunyai amplitudo yang lebih besar terdapat pada aliran sumbat liquid (*slug*), seperti yang terlihat pada Gambar 12.

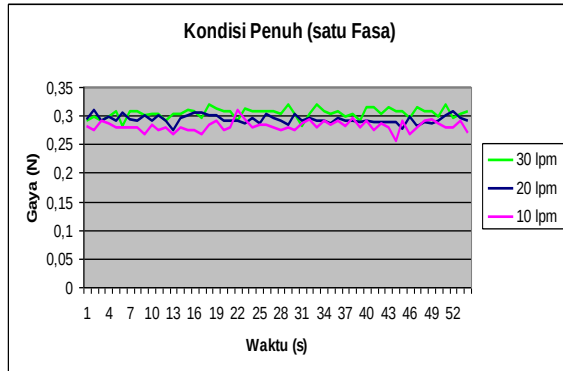


Gambar 12. Grafik fluktuasi gaya pada masing-masing pola aliran.

Jika dibandingkan dengan gaya yang terbentuk pada kondisi tanpa gas (kondisi air penuh / satu fasa) maka terlihat bahwa gaya yang terbentuk pada aliran satu fasa lebih besar dibanding dengan dua fasa seperti yang ditunjukkan Gambar 13.

Hal ini terjadi karena aliran satu fasa (fasa cair) mempunyai massa jenis yang

besar sehingga memberikan efek gaya yang besar pula. Namun gaya pada aliran tersebut tidak belfluktuatif dan relatif stabil, sehingga tidak akan memberikan efek getaran pada pipa yang dilewatinya.



Gambar 13. Grafik fluktuasi gaya pada aliran satu fasa

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa gaya terbesar terjadi pada saat pola aliran gelembung (*Bubble*) yaitu sebesar 0,143 N yang nilainya relatif stabil, sedangkan pada pola aliran sumbat liquid lebih menunjukkan gaya yang ditimbulkan lebih berfluktuasi dibanding dengan pola aliran yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Omar, A., Mitra, D., & Adinolfi, P., 2003. *"Development of Design Criteria for Fluid Induced Structural Vibrations in Steam Generators and Heat Exchangers"*, Final Technical Report, Department of Mechanical and Aerospace Engineering University of California. USA.
- Riverin, J.L., de Langre, E., & Pettigrew, M.J., 2006, *"Fluctuating Forces caused by Internal Two-Phase Flow on Bend and Tees"*, J. of Sound and Vibration, Vol. 1088-1098.
- Wang, S.F., Ozama, M., & Shoji, M., 2002, *"Fluctuating of Gas-liquid Two-Phase Flow Through an Impacting T-*

Junction", J. of Multiphase Flow Vol. 2 2007-2016

Ugural, A. 1999. *Stresses in Plates and Shells* 2nd Edition. McGraw-Hill Int. Edition. Singapore.

Irsyad, M., 2009, *"Pengaruh Pola Aliran Fluida Gas-Cair Terhadap Getaran Pada Belokan Pipa Horizontal"*, Proceeding Seminar Nasional Mesin & Industri (SNMI5) Universitas Tarumanegara, Jakarta, 8 Oktober, 236-244.

Irsyad, M., 2009, *"Pengaruh Pola Aliran Fluida Gas-Cair Terhadap Getaran Pada Pengecilan Penampang Pipa Horizontal"*, Proceeding Temu Nasional Dosen Teknik (TINDT) VIII, Universitas Tarumanegara, Jakarta, 25 November, III-18 – III-26.