

## FLUKTUASI GAYA PADA PIPA SAMBUNGAN T AKIBAT ALIRAN DUA FASA CAIR-GAS

**Muhammad Irsyad**

Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung  
Gedung H Fakultas Teknik, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro No. 1  
Bandar Lampung, 35145 Telp: (0721) 3555519 Fax: (0721) 704947

### Abstrak

Aliran dua fasa memiliki ketidakstabilan karena pada satu saluran terdapat dua fasa yang berbeda, yang mengakibatkan gaya yang ditimbulkan setiap fasa berbeda-beda. Ketidakstabilan aliran dua fasa dapat mengakibatkan masalah keamanan pada komponen-komponen *power*, *heat transfer*, boiler, evaporator, reaktor nuklir maupun dalam berbagai sistem proses kimia, terutama pada percabangan tipe T. Untuk itu perlu mengetahui fluktuasi gaya pada dinding percabangan pipa tipe T yang disebabkan oleh aliran dua fasa terutama cair-gas.

Penelitian ini menggunakan aliran dua fase dengan variasi debit udara dan air yaitu 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, dan 50 lpm untuk udara serta 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, dan 35 lpm untuk air. Dan menggunakan *strain gauge* tipe GFCA 3-50 untuk membaca remangan yang terjadi pada pipa sambungan T.

Hasil penelitian ini menunjukkan adanya fluktuasi gaya akibat aliran dua fasa cair-gas dan memiliki nilai yang berbeda untuk setiap pola aliran. Dimana dari setiap pola aliran tersebut memiliki nilai gaya puncak yang berbeda-beda. Gaya terbesar terjadi pada saat pola aliran gelembung (*bubble*) yakni 0,2938 N. Fluktuasi gaya yang besar terjadi pada pola aliran sumbat liquid (*slug*).

**Kata kunci:** Cair-gas, gaya, pola aliran, pipa sambungan T

### PENDAHULUAN

Aliran dua fase gas-cair banyak dijumpai pada industri kimia dan nuklir, seperti pada boiler, kondensor, evaporator, reaktor nuklir, pencairan gas, dan lain-lain. Tingkat kompleksitas aliran ini bukan hanya disebabkan oleh banyaknya variabel yang terlibat, tetapi juga karena pada aliran dua fase terdapat dua parameter baru yaitu; fraksi hampa dan pola aliran [1]. Salah satu efek yang muncul pada aliran dua fase berkaitan dengan pola aliran adalah adanya fluktuasi aliran karena bercampurnya fase gas dan fase cair yang tidak homogen sehingga densitas aliran pun tidak homogen yang dapat menimbulkan fluktuasi gaya (*fluctuating forces*) dan faktor lainnya [2].

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

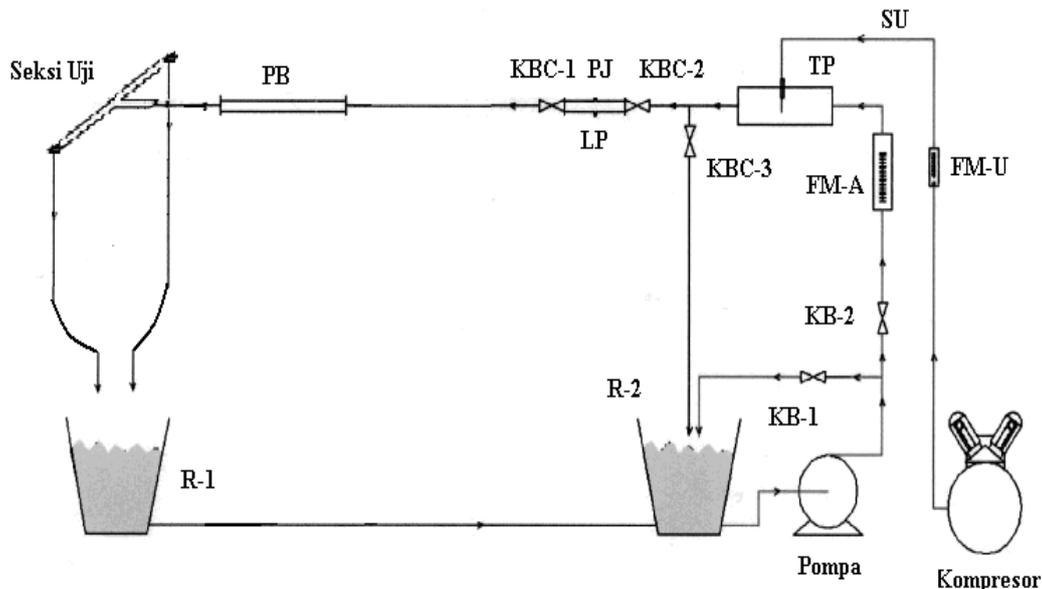
titik percabangan tersebut [3]. Proses ini mirip dengan peristiwa *water hammer*. Beban dampak secara acak ini akan menghasilkan getaran (*flow-induced vibration*) pada pipa. Akibat pembebanan dampak secara acak yang berlangsung terus menerus bisa menyebabkan kerusakan pada pipa, terutama pada daerah diskontinyu, seperti pada sambungan percabangan, dan belokan [4]. 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 [3]. 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 [5]. Sementara pada dinding pipa pengecilan penampang amplitudo getaran maksimum terjadi pada pola aliran strata licin [6].

Untuk mencegah dan mengatasi

kerusakan pada pipa percabangan T perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui gaya yang bekerja pada dinding pipa akibat aliran dua fase gas-cair. Diharapkan informasi hasil penelitian ini bisa bermanfaat untuk memprediksi getaran pada pipa percabangan T dengan diameter dan material yang berbeda.

## METODE

Pengujian dilakukan pada sistem pengujian aliran dua fase, dimana pipa percabangan T dilengkapi *strain gauge* seperti pada gambar 1.

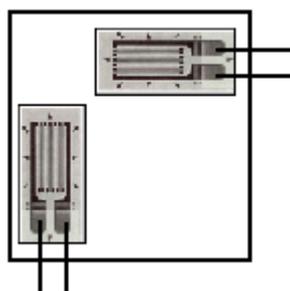


Gambar 1. Gambar skematis instalasi pengujian

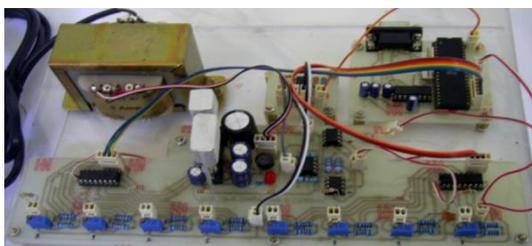
Keterangan Gambar 2 :

- 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 penjebak 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 penjebak yang berfungsi untuk mengeluarkan fluida cair yang terjebak
- 8) Seksi uji BPH : Seksi uji pipa sambungan T, 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, dan menggunakan *interface Amplifier* yang berfungsi sebagai *power supply* sensor, penguat sinyal sensor dan *socket interface* sebagai penghubung ke set komputer dapat dilihat pada Gambar 3 yang kemudian data regangan akan ditampilkan berupa grafik pada sebuah monitor.

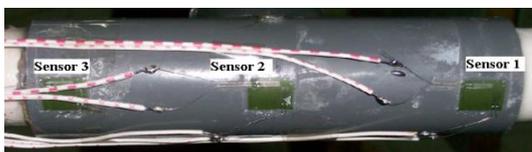


Gambar 2. *Strain gauge*



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 Letak sensor *strain gauge*

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  
 $\rho$  = 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  $\varepsilon_a$  adalah regangan aksial,  $L$  adalah panjang nominal dari *strain gauge*,  $R$  adalah tahanan nominal dari *strain gauge* dan  $G_f$  adalah *gauge factor*.  $\Delta L$  dan  $\Delta R$  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.

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

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

Maka nilai tegangan diperoleh dengan persamaan :

$$\sigma_x = \frac{E}{(1-\nu^2)}(\epsilon_x + \nu\epsilon_y)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{(1-\nu^2)}(\epsilon_y + \nu\epsilon_x)$$

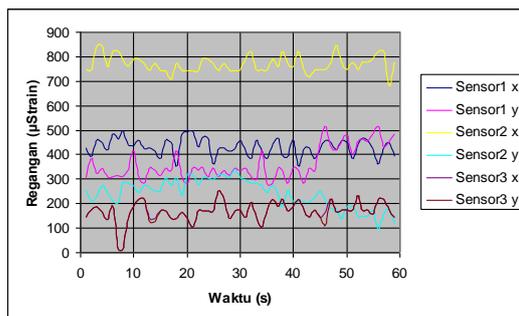
(5)

## 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*.

### Regangan pada pipa

Regangan yang dihasilkan setiap waktu pada dinding pipa pecabangan T untuk masing-masing sensor dapat diplot dalam bentuk grafik. Sebagai contoh aliran dua fase dengan debit udara 3 lpm dan debit air 20 lpm terlihat pada gambar 5. Regangan yang terbesar terjadi pada sensor 2 dengan arah sumbu *x*. Hal ini terjadi karena sensor 2 terletak tepat pada bidang tumbukan aliran dua fase tersebut sehingga mengalami regangan terbesar, regangan terbesar yang terjadi sekitar 848,9  $\mu$ Strain. Sedangkan regangan yang terkecil terjadi pada sensor 3 dengan arah sumbu *x* maupun sumbu *y*.

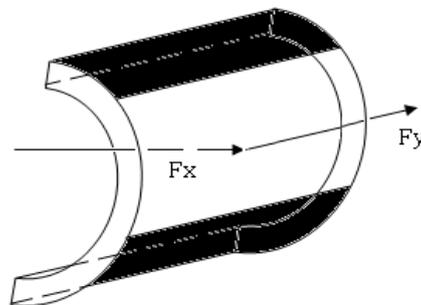


Gambar 5. Grafik respon regangan (air 20 lpm dan udara 3 lpm).

### Fluktuasi Gaya Pada Pipa Sambungan T

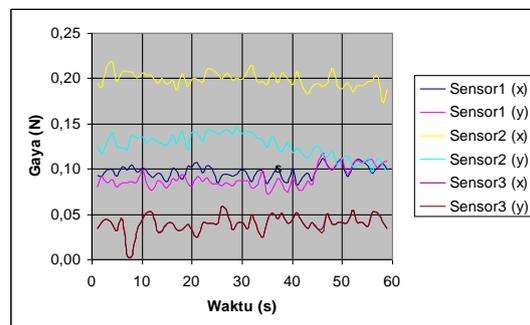
Pembacaan satu sensor adalah dalam dua arah, yaitu arah dari arah radial atau dari titik pusat jari-jari pipa (sumbu *x*) dan pada arah sejajar sumbu pipa (sumbu *y*). Untuk lebih jelas mengenai arah dari gaya *x* dan *y* dapat

dilihat pada Gambar 6 yang menunjukkan dengan jelas arah-arah tersebut.



Gambar 6. Arah gaya sumbu *x* dan *y*.

Nilai gaya yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 7, menunjukkan gaya akibat aliran dua fasa cair-gas dengan perubahan variasi debit air dan udara. Dari grafik tersebut dapat kita lihat besar gaya setiap detik yang terjadi pada pipa sambungan T. Gaya terbesar terjadi pada sensor 2, hal ini dikarenakan sensor dua terdapat tepat pada titik tegak lurus dengan arah aliran.



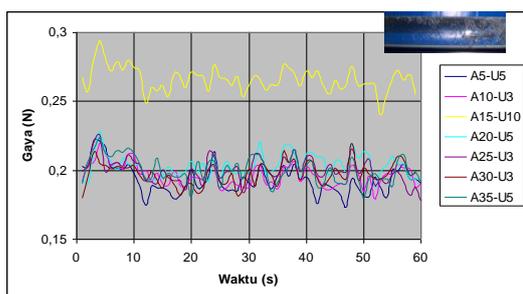
Gambar 7. Grafik respon gaya (air 20 lpm dan udara 3 lpm).

Dari gambar di atas gaya yang berpengaruh besar adalah gaya yang terdapat pada sumbu *x*. Hal ini disebabkan oleh arah regangan akibat tumbukan fluida searah sumbu *x*. Gaya yang terjadi tidak konstan maka regangan juga akan berubah-ubah sesuai dengan besar gaya yang bekerja. Akibat regangan yang berubah-ubah tersebut maka pipa sambungan T tersebut akan mengalami getaran. Untuk hal ini berarti gaya yang berpengaruh adalah  $F_x$  untuk semua titik pengamatan.

Dari semua gaya yang mengakibatkan getaran tersebut gaya  $F_{2x}$  merupakan yang

paling besar, sehingga getaran terbesar terjadi pada titik 2. Nilai gaya  $F_{2x}$  untuk setiap variasi berbeda-beda, selain itu juga besarnya dipengaruhi oleh pola aliran yang terjadi yakni, aliran gelembung (*bubble*), aliran kantung gas (*plug*), aliran strata licin (*stratified*), aliran strata gelombang (*stratified wave*) dan aliran sumbat liquid (*slug*).

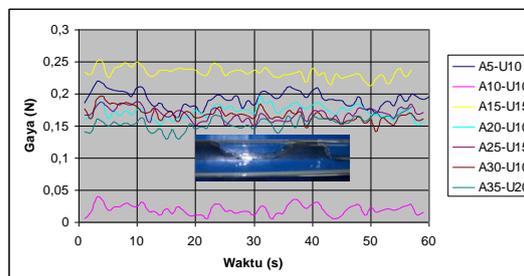
Pola aliran gelembung terjadi pada saat variasi debit udara 3-10 lpm. Gaya rata-rata terbesar terjadi pada variasi debit air 15 lpm dan udara 10 lpm dengan fraksi hampa 0,4 dimana maksimum gaya adalah 0,2938 N seperti terlihat pada gambar 8. Hal ini terjadi karena untuk aliran gelembung sebagian besar masih didominasi oleh air, sehingga pada saat menumbuk air lebih dominan menyentuh pipa sambungan T. Seperti diketahui bahwa massa jenis air jauh lebih besar dibandingkan udara, sehingga gaya yang dihasilkan juga akan lebih besar.



Gambar 8. Gaya pada pola aliran gelembung (*bubble*).

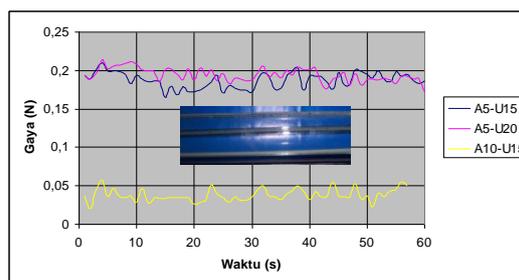
Aliran kantung udara terbentuk dari bergabungnya dua atau lebih gelembung, sehingga akan terbentuk gelembung yang lebih besar dan dinamakan kantung udara. Gaya pada aliran kantung udara ini tidak jauh berbeda dengan gaya yang terjadi pada aliran gelembung, namun besar gayanya agak sedikit menurun seperti terlihat pada Gambar 9. Pada pola ini gaya terbesar yang terjadi adalah 0,2516 N, sama seperti sebelumnya terjadi pada variasi air 15 lpm namun udara pada 15 lpm fraksi hampanya adalah 0,5. Gaya pada debit air 10 lpm mengalami penurunan yang sangat besar, dimana sebelumnya masih berada pada kisaran 0,2 N sekarang berada pada 0,03 N. Tidak diketahui dengan jelas apa yang menyebabkan hal ini terjadi, karena bila dilihat dari gaya-gaya pada variasi lain tidak

mengalami penurunan yang cukup besar.



Gambar 9. Gaya pada aliran kantung udara (*plug*).

Pola aliran strata licin sulit untuk diamati dan apabila muncul hanya bertahan dalam waktu yang singkat. Gaya terbesar terjadi pada saat debit air 5 lpm dengan debit udara 20 lpm dengan fraksi hampa 0,8 yaitu 0,2138 N. Fluktuasi gaya tidak terlalu tinggi karena fluida yang mengalir relatif seragam.

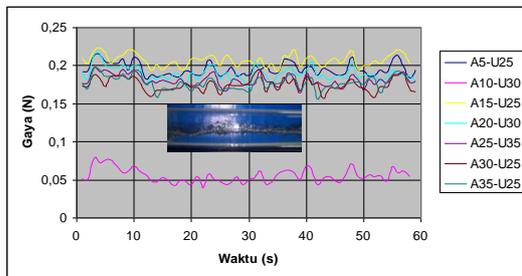


Gambar 9. Gaya pada aliran strata licin (*stratified*).

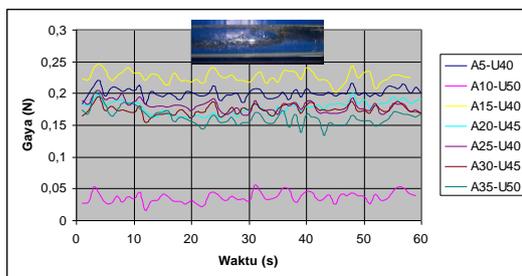
Aliran strata gelombang ini merupakan aliran yang paling sering terbentuk pada penelitian ini, hal ini dikarenakan aliran ini memang terjadi pada saat debit udara 25 lpm ke atas. Seperti terlihat pada Gambar 10 gaya yang terjadi masih berada pada rentang 0,15 sampai 0,25 N terkecuali untuk aliran air 10 lpm. Gaya yang terjadi agak berfluktuatif dibandingkan dengan yang sebelumnya. Gaya maksimum masih terjadi pada debit air 15 lpm, untuk kali ini berada pada debit udara 25 lpm dengan fraksi hampa 0,625 yaitu 0,22394 N.

Pola aliran sumbat liquid ini juga termasuk sering terjadi pada aliran dua fasa cair-gas. Aliran ini terjadi hampir pada semua variasi, namun yang paling terlihat jelas pada saat variasi debit udara 35 lpm keatas. Gaya pada pola aliran ini cukup berfluktuatif dengan

gaya maksimum yang terjadi adalah pada debit air 15 lpm dan udara 40 lpm dengan fraksi hampa 0,7273 yaitu 0,2472 N seperti terlihat pada Gambar 11.

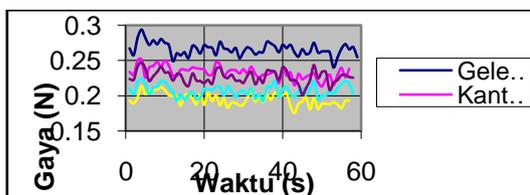


Gambar 10. Gaya pada aliran strata gelombang (*stratified wave*).



Gambar 11. Gaya pada aliran sumbat liquid (*slug*).

Secara keseluruhan gaya yang terjadi hanya pada rentang 0,15 sampai 0,3 N, dimana gaya terbesar selalu terjadi pada debit air 15 lpm untuk semua variasi udara dan pola aliran yang terbentuk. Gaya terbesar pada debit air 15 lpm dan udara 10 lpm sebesar 0,2938 N dengan pola aliran yang terjadi adalah aliran gelembung. Hal ini terjadi karena yang melakukan tumbukan sebagian besar adalah fluida pada kasus ini adalah air. Namun fluktuasi yang terjadi pada debit udara ini tidak terlalu besar.



Gambar 12. Gaya akibat pola aliran.

Fluktuasi yang cukup besar terjadi pada saat debit udara besar, hal ini memperlihatkan bahwa suatu aliran yang mengandung udara

cukup banyak atau dengan kata lain fraksi hampunya besar maka akan menimbulkan gaya tumbukan yang bervariasi besarnya atau berfluktuasi. Nilai gaya untuk setiap pola aliran dapat dilihat pada Gambar 12.

Dari penjelasan diatas ternyata aliran dua fasa cair-gas akan memberikan gaya yang besar pada saat debit gas tidak terlalu besar, namun fluktuasi yang terjadi tidak terlalu besar. Sebaliknya dengan debit gas yang besar gaya yang terjadi tidak sebesar yang terjadi pada debit gas kecil namun fluktuasi yang terjadi cukup besar sehingga pipa sambungan T ini akan lebih cepat mengalami kerusakan pada debit gas yang seperti ini. Hal ini diakibatkan karena pipa sambungan T ini mengalami gaya yang berubah-ubah, sehingga pipa akan lebih cepat mengalami lelah (*fatigue*).

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Regangan terbesar terjadi pada dinding pipa yakni di titik percabangan T.
2. Setiap pola aliran tersebut memiliki nilai gaya puncak yang berbeda-beda, pada aliran gelembung bernilai 0,2938 N, aliran kantung gas 0,2516 N, aliran strata licin 0,2137 N, aliran strata gelombang 0,2239 N dan aliran sumbat liquid sebesar 0,2472 N.
3. Gaya terbesar terjadi pada saat pola aliran gelembung (*bubble*) yaitu sebesar 0,2938 N, hal ini dikarenakan yang melakukan tumbukan terhadap pipa sambungan T sebagian besar adalah fluida air.
4. Fluktuasi gaya yang besar terjadi pada pola aliran sumbat liquid (*slug*), dimana pada aliran ini yang memberikan gaya kepada dinding pipa bergantian antara air dan udara.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Omar, Alquaddomi., Mitra, Deepanjan., & Adinolfi, Pierangelo. 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.
- [2] 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.
  - [3] 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.
  - [4] Ugural, A. 1999. *Stresses in Plates and Shells* 2<sup>nd</sup> Edition. McGraw-Hill Int. Edition. Singapore.
  - [5] 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.
  - [6] 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.