ISSN 1411 - 9471
Volume 11 nomor 3, September 2011

Jurnal TEKNIK MESIN

JURNAL TEKNIK MESIN	Volume 11	Nomor 3	Halaman 173 - 257	SURABAYA September 2011	ISSN 1411-9471

JURNAL TEKNIK MESIN

ISSN 1411 - 9471

Jurnal Teknik Mesin terbit tiga kali setahun pada bulan Januari, Mei dan September.
Berisi tulisan yang diangkat dari hasil penelitian dan kajian analitis kritis di bidang Teknik Mesin.

Ketua Penyunting
Prof. Dr. Ing. Herman Sasongko

Wakil Penyunting
Prof. Dr. Ir.Wajan Berata, DEA.

Penyunting Pelaksana
Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. PhD.
Ir. Sudjud Darsopuspito, MT.
Dr. Bambang Sudarmanta, ST. MT.
Is Bunyamin Suryo, ST. MSc.
M. Khoirul Effendi, ST. MSc.
Wahyu Wijanarko, ST. MSc.

Penyunting Ahli

Prof. Ir. Djati Nursuhud, MSME.	*Mesin-Mesin Konversi Energi - Jurusan Teknik Mesin ITS*
Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, MSc., PhD.	*Automotive - Jurusan Teknik Mesin ITS*
Prof. Dr. Ir. TriyogiYuwono, DEA.	*Mekanika&Mesin Fluida - Jurusan Teknik Mesin ITS*
Ir. Bambang Daryanto W., MSME., PhD.	*Vibrasi&Sistem Dinamis - Jurusan Teknik Mesin ITS*
Ir. Sudiyono Kromodihardjo, MSc., PhD.	*Sistem Manufaktur&Otomasi Industri - Jurusan Teknik Mesin ITS*
Ir. Budi Utomo KukuhW, ME.	*Perpindahan Panas&Termodinamika Terapan - Jurusan Teknik Mesin ITS*
Dr. Ir. Abdullah Shahab, MSc.	*Metalurgi - Jurusan Teknik Mesin ITS*
Dr. Eng. Prabowo, M.Eng.	*Perpindahan Panas&Termodinamika Terapan - Jurusan Teknik Mesin ITS*
Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA.	*Mekanika Benda Padat - Jurusan Teknik Mesin ITS*
Prof. Dr. Ing. I Made Londen Batan, ME.	*Metrologi&Kalibrasi Dimensi - Jurusan Teknik Mesin ITS*
Prof. Dr. Ir. Johny Wahyuadi Soedarsono, DEA.	*Departemen Metalurgi dan Material -UI*
Dr. Ir. Suhanan, DEA.	*Perpindahan Panas - Jurusan Teknik Mesin UGM*
Dr. Ir. Berkah Fajar T., Dipl.Ing.	*Perpindahan Panas & Massa - Jurusan Teknik MesinUNDIP*
Dr. Ir. Iwan Kusmarwanto	*Praktisi Industri, Ahli Aeronautics*
Prof. Dr. Ing. Harwin Saptoadi, MSc.	*Teknik Pembakaran - Jurusan Teknik Mesin UGM*

Mitra Bestari, Jurnal Teknik Mesin Volume 11 Tahun 2011

Dr. Ir. Suharto, DEA
Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA
Prof. Dr. Ir. H.D. Sungkono, M.Eng
Dr. Bambang Sudarmanta, ST. MT
Dr. Eng. Prabowo, M.Eng
Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA
Dr. Ir. H.C. Kis Agustin, DEA
Prof. Dr. Ing. I Made Londen Batan, ME
Ir. Bambang Daryanto, MSME. PhD.
Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT
Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. PhD
Ary Bachtiar Krisna P., ST. MT. PhD.
Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, MSc.
Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA

Tata Pelaksana Usaha
Sri Suharti, BA
Imam Dahroni

Jurnal Teknik Mesin diterbitkan oleh
Jurusan Teknik Mesin FTI - ITS

Alamat Redaksi
Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp. 031- 5922941, 5946230, Fax. 031-5922941

E-mail : jurnalme@me.its.ac.id,
jurnalme@yahoo.co.id
Website : www.me.its.ac.id/Data/jurnal.html,
jurnalme.bravehost.com

Penyunting menerima sumbangan tulisan yang belum pernah diterbitkan dalam media lain.
Naskah diketik mengikuti Persyaratan Naskah Jurnal Teknik Mesin
seperti tercantum pada bagian dalam sampul belakang Jurnal Teknik Mesin.

Jurnal TEKNIK MESIN

Volume 11 Nomor 3, September 2011

ISSN 1411 – 9471

Getaran Pada Pipa Percabangan Tipe T Akibat Fluktuasi Aliran Dua Fasa Gas – Cair — halaman 173-181
Muhammad Irsyad

Effect of Transient Thermal Tensioning (TTT) on Fatigue Crack Growth Rate of Friction Stir Welded T-Joints in Aluminium Alloy 6061-T6 Welded Structures — halaman 182-190
Mochammad Noer Ilman,Triyono

Hambatan Termal Dan Efektivitas Alat Rekoveri Panas Loop Termosifon Bertekanan 0,8 Dan 1,2 MPA — halaman 191-199
Suyitno

Effect of Prestrain on Delayed Fracture of Stainless Steel 304 — halaman 200-207
Mohammad Badaruddin, Ahmad Su'udi

Effect of Transfer Time During Austempering of Nodular Cast Iron FCD 450 — halaman 208-214
Indra Sidharta, Wajan Berata

Pengaruh Temperatur Karbonisasi dan Gasifikasi Terhadap Kualitas Kokas Pada Industri Peleburan Besi — halaman 215-221
Khairil, Irwansyah dan Udink Aulia

Pengaruh Kekerasan dan Stuktur Mikro Komposit Logam Al - SiC Hasil Proses Metode Primex Sebagai Aplikasi Komponen Otomotif — halaman 222-230
Agus Pramono

Evaluasi dan Aplikasi Dinamometer *Force Ring* untuk Mengukur Gaya Pemotongan pada Pemesinan Bubut dengan Sistem Pahat Berputar — halaman 231-239
Suryadiwansa Harun

Karakteristik ketangguhan *impact* dan kekuatan tarik komposit *hybrid* serat batang kelapa /serat gelas menggunakan matrik *urea formaldehyde* — halaman 240-248
Nasmi Herlina Sari, Ahmad Taufan

Pemanfaatan Paket Pemograman CFD untuk Mengkaji Distribusi Temperatur Ruang Bakar Boiler 51MW Berbahan Bakar MFO dan LNG — halaman 249-257
Syukran

KATA PENGANTAR

Pada penerbitan kali ini, JTM berhasil memuat artikel dari beragam lingkup studi dan asal peneliti di bidang Teknik Mesin. Sepuluh artikel yang berhasil dimuat secara merata tersebar dalam dua kelompok lingkup studi, yaitu: Konversi Energi, Metalurgi, dan Manufaktur. Dari sepuluh artikel, satu berasal dari peneliti dalam ITS dan selebihnya berasal dari peneliti luar ITS (Universitas Lampung, Universitas Gajah Mada, Universitas Sebelas Maret (UNS), Universitas Syiah Kuala, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Universitas Mataram, Politeknik Negeri Lhokseumawe).

Dewan penyunting mengucapkan terima kasih kepada para pengirim artikel dan penyunting ahli yang telah memberi sumbangan pada kualitas Jurnal ini. Kami juga berterima kasih kepada seluruh pelanggan kami yang telah memanfaatkan JTM sebagai bahan rujukan dan inspirasi dalam penelitiannya.

Kami mengajak para peneliti dan praktisi bidang Teknik Mesin dan bidang terkait untuk menulis artikel pada Jurnal Teknik Mesin ini (terbit setiap Januari, Mei, dan September). Artikel anda akan dirujuk oleh pelanggan kami dari seluruh penjuru Indonesia.

Akhirnya kami berharap semoga artikel-artikel berkualitas dalam jurnal ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan memberikan inspirasi dalam pengembangan teknologi di bidang rekayasa mesin.

Dewan Penyunting

Getaran Pada Pipa Percabangan Tipe T Akibat Fluktuasi Aliran Dua Fasa Gas – Cair

Muhammad Irsyad
Laboratorium Mekanika Fluida, Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik, Universitas Lampung
Email: irsyad71@unila.ac.id

Diterima 27 April 2010; diterima terkoreksi 31 Agustus 2010; disetujui 23 Pebruari 2011

Abstract

Liquid-gas two phase flow in T pipe junction generates an impact that fluctuates on the pipe wall. The impact fluctuation will produce vibration on the pipe section. The aim of the study is to observe the effect of flow pattern to the vibration in the T pipe junction. This experimental study measured the frequency and amplitude using Photogate (non-contact) TM 150.01 which was wired to the computer. This study used water and air as the fluid. Flow pattern is pictured through visualization. Two variables in the study were air and water debit. The experiments showed slug flow pattern which provided the biggest effect on vibration amplitude of 0.6 up to 0.84mm. On the other hand, bubble flow pattern gave the smallest effect with the amplitude ranged from 0.31 mm to 0.147 mm.

Keywords: *T pipe junction, vibration, fluctuates, liquid – gas flow*

Aliran dua fase gas-cair banyak dijumpai pada industri kimia dan nuklir, seperti pada boiler, kondesor, 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].

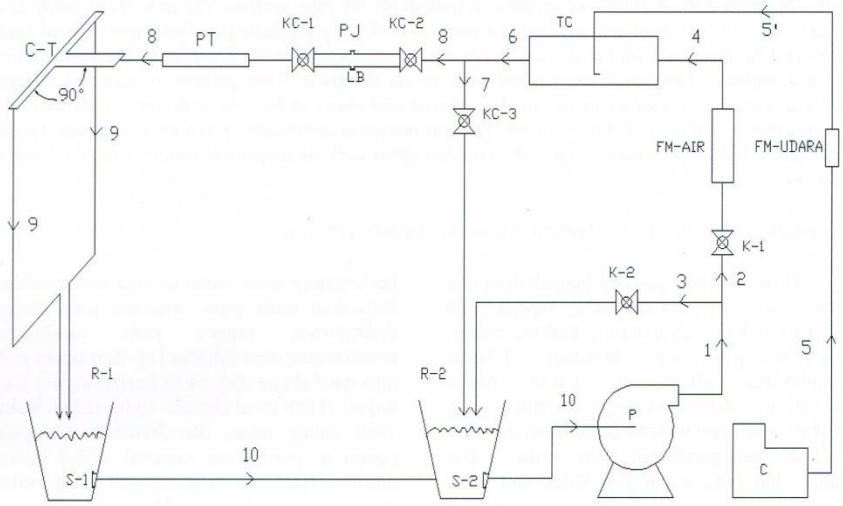
Fluktuasi aliran dipengaruhi oleh pola aliran yang terbentuk. Sedangkan pola aliran berhubungan dengan kualitas uap dan fraksi hampa. Fluktuasi aliran yang terjadi terus menerus pada percabangan pipa akan memberikan beban impak secara acak pada titik percabangan tersebut [3]. Proses ini mirip dengan peristiwa *water hammer*. Beban impak secara acak ini akan menghasilkan getaran (*flow-induced vibration*) pada pipa. Akibat pembebanan impak 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 maksumum terjadi pada pola aliran strata licin [6].

Untuk mencegah dan mengatasi kerusakan pada pipa percabangan T perlu dilakukan penelitian untuk melihat fenomena getaran yang terjadi pada dinding pipa sesuai dengan pola aliran yang terbentuk akibat aliran dua fase gas-cair. Diharapkan informasi hasil penelitian ini bisa bermanfaat untuk melihat tingkat bahaya sehingga kerusakan akibat

getaran pada sistem perpipaan dapat diantisipasi.

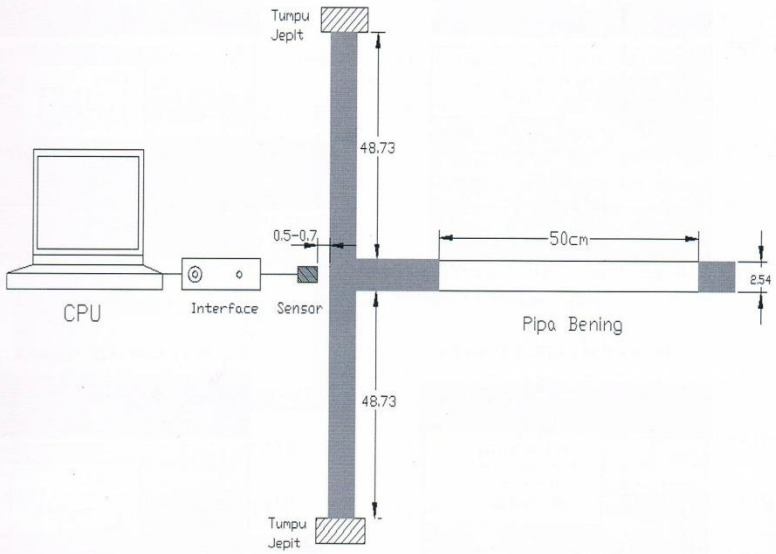
METODE

Penelitian ini dilaksanakan secara eksperimental, dimana bagian utama dalam alat uji adalah: penjebak aliran, pipa transparan, dan sensor getaran. Penjebak aliran digunakan untuk mengukur fraksi hampa. Pipa transparan digunakan untuk visualisasi pola aliran yang terbentuk. Sensor getaran tipe *Photogate* (*non-contact*) TM. 150.01 dengan jarak pemasangan 5 – 10 mm, frekwensi 0 – 50 Hz dan tegangan yang dihasilkan 0 – 10 Volt, dilengkapi *Interface Box* TM.150.20 yang terhubung dengan computer digunakan untuk mengukur amplitude dan frekwensi getaran yang terjadi untuk setiap perubahan pola aliran. Skema alat uji dan penempatan sensor terlihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Skema instalasi pengujian

Keterangan Gambar 1.
P : Pompa sentifugal
C : Kompressor torak
K-1: Katup bola menuju FM-air (*flowmeter* air).
K-2 : Katup *bypass*.
FM-Air : *Flowmeter* air.
FM-Udara : *Flowmeter* udara.
TC : Tabung pencampur.
KC-1, KC-2, KC-3 : Katup penjebak 1, 2, dan 3.
PJ : Pipa penjebak aliran dua fase.
LB : Lubang bawah pipa penjebak.
PT : Pipa transparan.
C-T : Percabangan pipa tipe-T.
R-1, R-2 : Tangki penampung air (Reservoar) 1 dan 2.
S-1, S-2 : Saringan air 1 dan 2.



Gambar 2. Geometri percabangan pipa tipe-T dan penempatan sensor uji getar.

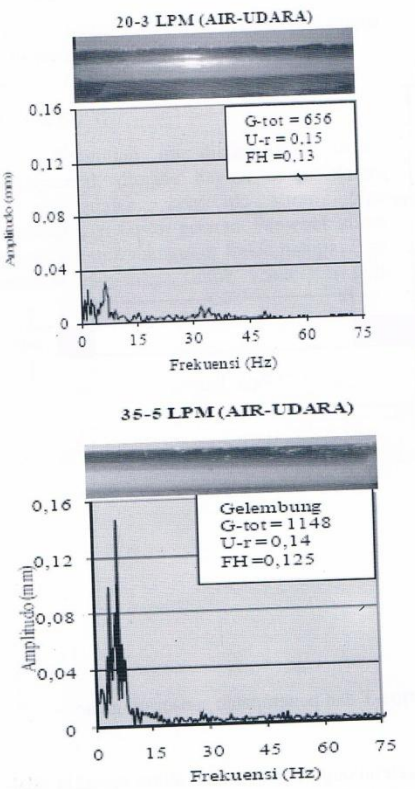
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian pola aliran yang terbentuk memberikan respon getaran yang berbeda. Dari beberapa pola aliran yang diperoleh memperlihatkan respon getaran sebagai berikut:

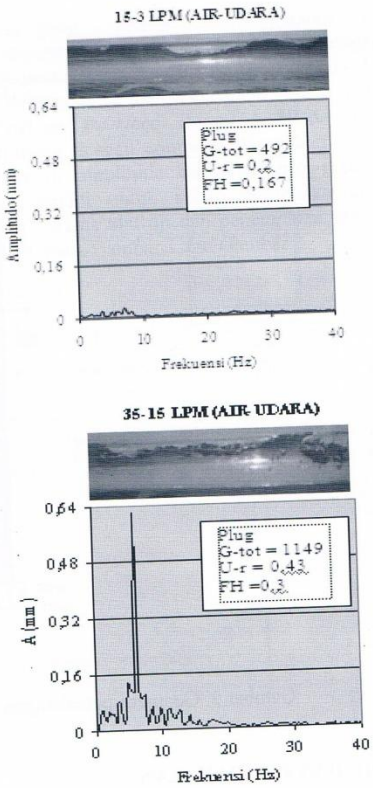
Pola Gelembung-tunggal

Pola aliran gelembung terjadi pada kondisi aliran yang relatif stabil yaitu pada saat debit udara dan rasio kecepatan superfisial udara-air yang kecil sehingga efek terhadap amplitudo getaran yang ditimbulkan tidak signifikan, yaitu antara 0,031 mm hingga 0,147 mm. Peningkatan amplitudo ini dipengaruhi oleh tingkat ketidakstabilan aliran.

Pada pola aliran gelembung-tunggal, tingkat ketidakstabilan aliran terindikasi dari jumlah dan ukuran gelembung yang terbentuk. Semakin besar dan banyak ukuran dan jumlah gelembung, maka kondisi aliran semakin tidak stabil sehingga amplitudo getaran yang terjadi semakin besar (lihat Gambar 3). Hal ini terjadi karena ketidakstabilan aliran umumnya terjadi akibat dari peningkatan debit udara sehingga terjadi peningkatan kecepatan udara sehingga terjadi ketidakstabilan muka-batas kedua fase dan juga mempertinggi kecepatan aliran sehingga memperbesar gaya impak aliran terhadap pipa. Selain ketidakstabilan aliran, peningkatan fluks massa total aliran (G_{tot}) juga mempengaruhi peningkatan amplitudo getaran karena laju massa atau debit dan fluks massa total aliran memiliki hubungan yang berbanding lurus terhadap gaya momentum atau gaya impak aliran pada percabangan pipa, sehingga semakin besar gaya impak akan memberikan efek besar terhadap getaran yang terjadi.



Gambar 3. Respon getaran pada aliran gelembung



Gambar 4. Pola aliran *plug* tidak stabil dan respon getar yang ditimbulkan

Pola Aliran *Plug*-tunggal

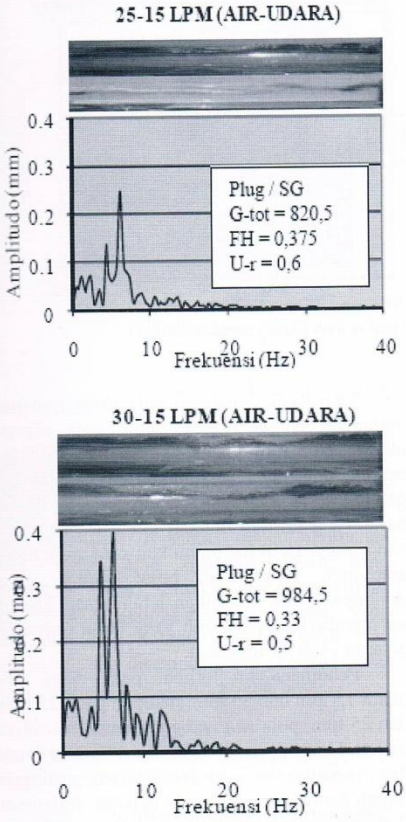
Pola *plug*-tunggal merupakan transisi gelembung sehingga memiliki ketidakstabilan dan fluks massa total yang lebih besar daripada pola gelembung pada debit air yang sama. Oleh karena itu, getaran yang ditimbulkan pun lebih besar. Amplitudo yang terjadi akibat pola ini berkisar antara 0,027 mm hingga 0,621 mm.

Pada Gambar 4 nampak bahwa semakin tidak stabil pola aliran *plug* dan semakin besar fluks massa aliran, maka amplitudo yang dihasilkan semakin besar. Namun berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh terlihat bahwa terjadi penurunan amplitude getaran ketika ketidakstabilan aliran menurun yang ditandai dengan bentuk pola *plug* yang lebih kecil, muka-batas fase air-udara lebih licin, dan rasio kecepatan superfisial udara-air menurun, yaitu dari 1 menjadi 0,25.

Pola Aliran *Plug* dan Strata Gelombang (*Plug*/SG)

Pada debit air yang sama, amplitudo getaran yang ditimbulkan oleh pola nontunggal *plug* dan strata gelombang (*plug*/SG) adalah lebih besar dibandingkan amplitudo yang ditimbulkan oleh pola *plug*-tunggal karena pada pola nontunggal ini aliran lebih tidak

stabil dengan terbentuknya pola baru yaitu strata gelombang yang merupakan hasil transisi *plug*, dan fluks massa pun lebih besar. Amplitudo getaran yang diakibatkan oleh pola nontunggal ini berkisar antara 0,25 mm hingga 0,4 mm.



Gambar 5. Pola aliran *plug*/SG dan respon getar yang ditimbulkan

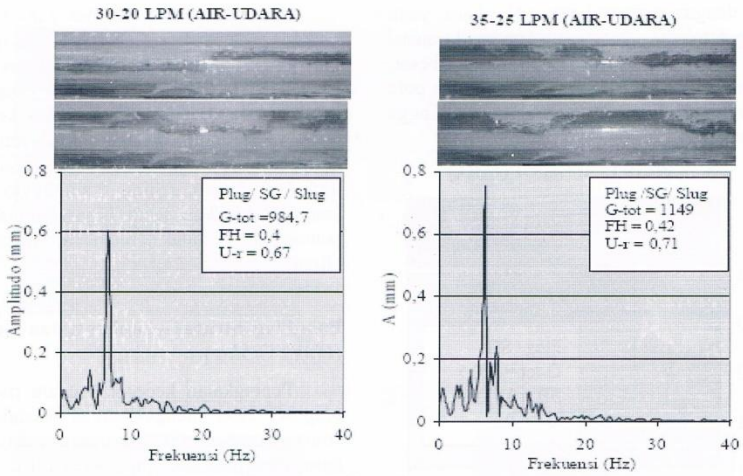
Pada Gambar 5 terlihat bahwa tekstur muka-batas kedua fase pada debit air-udara 30 lpm dan 15 lpm lebih kasar dengan adanya iringan butir likuid (*entrainment*) yang masuk ke dalam kontinyum udara akibat kecepatan udara yang tinggi, dan ukuran *plug* lebih besar daripada yang terjadi pada debit air-udara 25 lpm dan 15 lpm, sehingga amplitudo getaran yang ditimbulkan lebih besar karena terjadi peningkatan ketidakstabilan dan fluks massa aliran.

Pola *Plug*, Strata Gelombang, dan *Slug* (*Plug*/SG/*Slug*)

Peningkatan kecepatan udara pada pola *plug*/SG akan mengakibatkan sebagian pola strata gelombang (SG) bertransisi menjadi pola baru, yaitu pola *slug* (lihat Gambar 6).

Terbentuknya pola baru ini (*slug*) mengindikasikan peningkatan ketidak-stabilan aliran karena pola *slug* terbentuk pada kecepatan udara dan air yang cukup tinggi sehingga gelombang pada pola strata gelombang berkembang dengan amplitudo yang besar hingga menyentuh permukaan atas pipa sehingga saluran nampak tersumbat oleh fase likuid.

Sumbat likuid yang merupakan gelombang yang besar dan panjang tersebut ketika menumbuk pipa menimbulkan gaya impak yang besar sehingga adanya pola *slug* memberikan pengaruh yang besar pada peningkatan amplitudo getaran. Amplitudo getaran akibat pola ini terus meningkat bersamaan dengan peningkatan fluks massa aliran. Pada pola nontunggal *plug*/SG/*slug* amplitudo yang terjadi berkisar antara 0,6 mm hingga 0,755 mm. Peningkatan kedua parameter tersebut secara bersamaan menimbulkan efek yang kontinyu terhadap peningkatan amplitudo getaran.



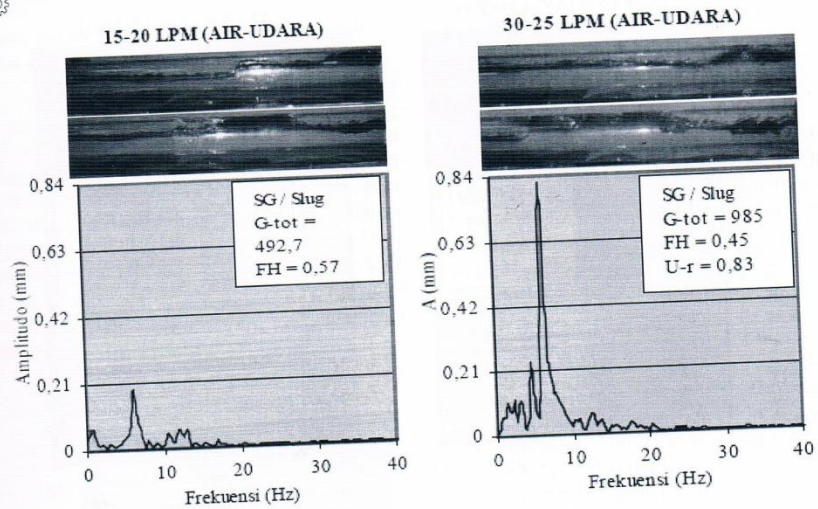
Gambar 6. Pola aliran *plug*/SG/*slug* dan respon getar yang ditimbulkan

Pola Aliran Strata Gelombang dan *Slug* (SG/*Slug*)

Amplitudo yang terjadi akibat pola aliran nontunggal SG/*slug* semakin besar karena terjadi peningkatan secara bersamaan atas dua parameter yang mempengaruhinya, yaitu ketidakstabilan aliran -dengan meningkatnya kecepatan aliran- dan fluks massa total, sehingga momentum yang dihasilkan pun semakin besar. Amplitudo yang terjadi akibat pola nontunggal SG/*slug* berkisar antara 0,19 mm hingga 0,82 mm. Perbedaan besar amplitudo getaran yang terjadi pada jenis pola aliran yang sama dipengaruhi oleh ukuran dan intensitas terjadinya masing-masing jenis pola aliran (Gambar 7).

Dari hasil visualisasi pola aliran terdapat hubungan bahwa -selain jenis pola aliran- ukuran pola dan intensitas kejadian masing-masing pola juga menentukan ketidakstabilan getaran. Pola *slug* yang memiliki massa likuid besar yang diiringi dengan intensitas kejadian yang tinggi akan menimbulkan getaran dengan amplitudo yang lebih besar karena gaya tumbukan yang dihasilkan lebih besar. Faktor ini memberikan pengaruh yang besar terhadap getaran yang ditimbulkan.

Fenomena ini terlihat pada debit air-udara 15 lpm dan 35 lpm, maupun pada 25 lpm dan 25 lpm, pola *slug* yang terbentuk memiliki ukuran likuid yang lebih kecil dari sebelumnya dan intensitasnya juga lebih jarang sehingga terjadi penurunan amplitudo getaran, walaupun fluks massa total aliran meningkat.



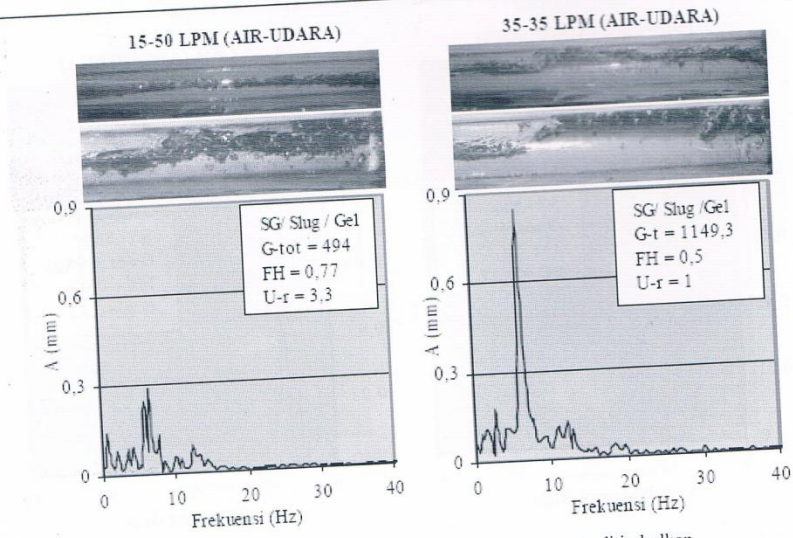
Gambar 7. Pola aliran *plug*/SG/*slug* dan respon getar yang ditimbulkan

Selain itu perbedaan ukuran pola pada jenis pola aliran yang sama, perbedaan ukuran antarpola pun mempengaruhi amplitudo getaran. Semakin besar perbedaan ukuran likuid antarpola tersebut, maka perubahan massa likuid atau fluktuasi aliran yang menumbuk pipa semakin besar sehingga menimbulkan ketidakstabilan getaran yang lebih signifikan karena fluktuasi gaya atau gaya kejut yang diterima sistem semakin besar akibat fluktuasi massa aliran yang besar.

Pola Aliran Strata Gelombang, *Slug*, dan Gelembung (SG/*Slug*/Gel)

Pada penelitian ini, pola nontunggal SG/*Slug*/Gel terbentuk pada kondisi aliran paling tidak stabil yang ditandai oleh muncul kembalinya gelembung yang terjadi akibat turbulensi yang menghalangi aliran udara sehingga terbentuk diskontinyu udara yang terperangkap dalam likuid pola *slug* (Gambar 8). Ketidakstabilan yang besar ini menimbulkan amplitudo getaran yang besar pula sehingga amplitudo maksimum sebesar 0,844 mm terjadi pada pola nontunggal ini.

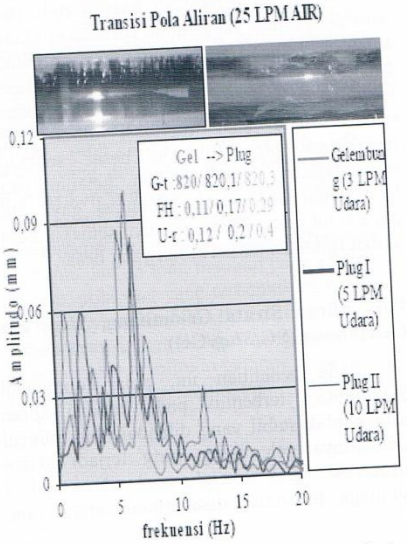
Peningkatan debit udara menyebabkan jumlah dan ukuran gelembung yang terperangkap pada likuid *slug* semakin besar sehingga menurunkan massa likuid *slug* tersebut. Kondisi ini menyebabkan penurunan amplitudo getaran karena fluktuasi dan besar massa likuid yang menumbuk pipa semakin kecil sehingga gaya kejut dan momentum yang dihasilkan pun semakin kecil. Tetapi jika peningkatan debit udara menimbulkan peningkatan ketidakstabilan aliran tanpa peningkatan kuantitas gelembung maka amplitudo getaran yang ditimbulkan pun semakin besar.



Gambar 8. Pola aliran SG/*slug*/Gel dan respon getar yang ditimbulkan

Tetapi tidak semua peningkatan debit udara menimbulkan penurunan amplitudo getaran. Sebagaimana yang telah disebutkan pada beberapa penjelasan pola sebelumnya, ketika kenaikan debit udara menghasilkan pola *slug* dengan intensitas kejadian yang tinggi dan likuid yang besar, maka akan dihasilkan peningkatan amplitudo getaran.

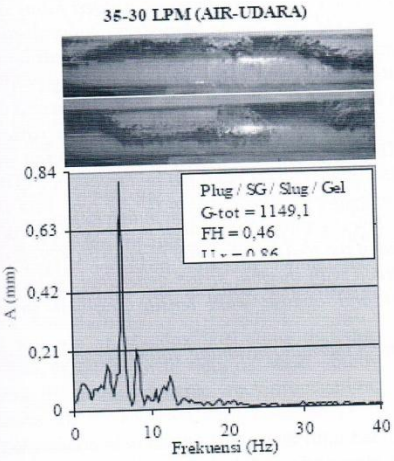
Hal ini menunjukkan bahwa pola aliran sangat berpengaruh terhadap besar amplitudo getaran yang ditimbulkan. Fenomena ini juga diperjelas pada peningkatan getaran secara signifikan saat terjadi transisi pola aliran, seperti pada Gambar 9. Terlihat bahwa peningkatan amplitudo getaran pada saat terjadi transisi pola aliran, yaitu dari gelembung (warna orange) menjadi *plug* I (warna biru tua) adalah lebih besar daripada peningkatan amplitudo pada pola aliran yang sama, yaitu *plug* I menjadi *plug* II (warna merah muda).



Gambar 9. Pengaruh transisi pola aliran terhadap peningkatan amplitudo getaran

Pola Aliran *Plug*, Strata Gelombang, *Slug*, dan Gelembung

Pola ini terjadi pada kondisi aliran yang tidak stabil sehingga amplitudo yang dihasilkan adalah besar yakni: 0,798 mm (Gambar 10). Pola aliran ini merupakan peralihan dari pola *plug*/SG/*slug* ke pola SG/*slug*/Gel sehingga walaupun hanya diperoleh satu data untuk pola ini, namun dapat diprediksi amplitudo maksimumnya berada lebih kecil dari pada pola nontunggal SG/*slug*/Gel karena tingkat ketidakstabilan dan fluks massa alirannya lebih rendah.



Gambar 10. Pola aliran *plug*/SG/*slug*/Gel dan respon getar yang ditimbulkan

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dapat diambil beberapa kesimpulan yakni:

1. Aliran yang memiliki pola aliran sumbat likuid (*slug)* memberikan pengaruh paling besar terhadap getaran dengan besar amplitudo berkisar antara 0,6 mm hingga 0,844 mm, dan pola aliran yang menimbulkan pengaruh paling kecil adalah pola gelembung (*bubble)* dengan rentang amplitudo antara 0,031 mm hingga 0,147 mm.
2. Amplitudo maksimum getaran sistem terjadi pada rentang frekuensi 5,871 Hz hingga 6,654 Hz.

PENGHARGAAN

Ucapan terima kasih kepada DP2M DIKTI yang telah membiayai penelitian ini. Ucapan terima kasih kepada alumni Jurusan Teknik Mesin UNILA, Latif, dan Nahdan Al Aufa.

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* 2nd 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.