

## SIMULASI MODEL KARAKTERISTIK *SELF EXCITED VIBRATIONS* DALAM ALIRAN FLUIDA DENGAN ANSYS

Sufiyanto<sup>1)</sup>, Rudi Hariyanto<sup>2)</sup>, Darto<sup>3)</sup>,

<sup>1,2,3)</sup> Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang

<sup>1)</sup> ui\_masrudi@yahoo.com, <sup>2)</sup> otmayifus@yahoo.co.id, <sup>3)</sup> darto\_unmer@yahoo.com

### ABSTRACT

*Change of speed stream and pressure fluid or change both of them caused vibrations in piping system are called self excited vibrations. Beside that stream fluctuation can increase the happening of energy losses in stream.*

*The aim of this experiment to obtain fluid stream characteristics that caused self excited vibrations and structure characteristics is effected the vibrations.*

*The applied method is a model simulation with ANSYS software in order to analyse of fluid stream characteristics when passed through pinch area and structure analysis that is effected by the fluid stream characteristics. The result of stream characteristics are pressure change and speed of stream at the inlet and outlet area and also pinch area. Here in after the stream characteristic used to analyse vibration characteristic with mathematical model.*

*The result of which is obtained from model simulation indicate that moment fluid flow characteristic pass pinch area happened change of potential energy in the form of pressure become kinetic energy in the form of speed of stream and or on the contrary. The frequency of self excited vibrations from mathematical model equation show value between 16 - 18 Hz. The result of structure simulation model ANSYS show average pressure around  $2,15 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$  with elongation equal to 2,8%.*

**Key words :** Stream Characteristics, Self Excited Vibrations, ANSYS Simulation Model

### PENDAHULUAN

Konsep dasar tentang getaran mekanik dan mekanika fluida merupakan hal yang telah dipelajari secara luas dan menjadi bagian penting dalam bidang teknik mesin. Namun aplikasi ataupun kajian yang menggabungkan atau mengkombinasi kedua konsep dasar tersebut dalam sebuah sistem fluida masih jarang dilakukan. Salah satu peristiwa yang dapat terjadi dan diamati dalam sebuah aliran sistem fluida yaitu terjadinya fenomena *self excited vibrations*. Fenomena ini muncul pada sebuah sistem fluida yang pada awalnya dalam kondisi aliran tunak (*steady flow*) tetapi kemudian menunjukkan gejala terjadinya getaran tanpa adanya gaya luar yang mempengaruhi sistem tersebut (Pejack, 2006). Pada kecepatan aliran yang kritis akan terjadi osilasi yang kemudian berkembang menjadi amplitudo yang besar. Peningkatan kecepatan yang lebih tinggi akan mempercepat terjadinya kondisi tidak stabil dalam aliran. Selain itu juga dilakukan analisis pendekatan matematis untuk menentukan kriteria dan mengungkap mekanisme ketidakstabilan saat terjadinya *self excited vibrations* yang diamati.

Dalam sistem fluida yang memiliki karakteristik kecepatan, tekanan dan perubahan kedua karakteristik yang terjadi pada aliran fluida tersebut dapat memberikan kontribusi terjadinya getaran, aliran tumbukan maupun tekanan balik yang umum terjadi dalam pengoperasian mesin-mesin hidrolis. Permasalahan yang muncul pada aliran fluida dengan adanya faktor aliran tumbukan, tekanan balik dan getaran dapat mengakibatkan pembengkakan pada sistem perpipaan. Pada kasus yang ekstrim dapat mengakibatkan keretakan dan kegagalan fatig pada sistem perpipaan. Pompa dan katup merupakan komponen dalam sistem perpipaan penyebab terbesar terjadinya getaran dan aliran tumbukan akibat perubahan drastis tekanan dan kecepatan yang terjadi pada komponen tersebut (Walker, 2007).

Penelitian tentang karakteristik aliran fluida yang mengalir di dalam sebuah *tube* telah dianalisis oleh Hazel dan Heil (2003). Pada saat tekanan fluida yang bekerja dalam *tube* bernilai negatif maka *tube* akan mengalami pengkerutan (*collapsible tubes*) kemudian *tube* menekuk tidak simetris dan deformasi yang besar mengakibatkan interaksi yang kuat antara fluida dan dinding *tube*. Pengaruh utama dari inersia fluida pada perilaku sistem yang diakibatkan oleh efek Bernoulli dapat membangkitkan penambahan *pressure drop* ketika *tube* menekuk dan luas penampang berkurang. Pada saat itu perubahan pembebanan fluida pada dinding dapat mengakibatkan interaksi kuat struktur-fluida, yang berpotensi menyebabkan fenomena seperti pembatasan aliran dan berkembang menjadi perpindahan yang besar pada osilasi dinding sebagai getaran yang dibangkitkan sendiri dalam aliran.

Penelitian lain yang menganalisa hubungan antara karakteristik aliran fluida dan struktur dinding *tube* dilakukan oleh Heil dan Waters (2006). Analisa tentang *tube* berisi fluida dengan

konstanta elastis dinding yang menunjukkan osilasi frekwensi tinggi dengan amplitudo kecil. Gangguan kecepatan yang dibangkitkan oleh gerakan dinding didominasi oleh komponen transversal dan menggunakan simulasi numeris untuk menganalisa aliran dua dimensi yang berkembang dalam penampang *tube*.

Dalam penelitian ini dilakukan analisa karakteristik aliran fluida yang mengalami *self excited vibrations* dengan menggunakan simulasi model ANSYS. Dengan melakukan variasi nilai rasio jepitan (*pinch ratio*) pada penampang aliran selang fleksibel yang menghasilkan kondisi kritis pada aliran fluida, maka diperoleh karakteristik aliran fluida sebagai akibat perubahan penampang aliran tersebut. Perubahan kecepatan aliran dan tekanan fluida yang terjadi merupakan karakteristik aliran yang akan diamati pada hasil simulasi model tersebut. Selanjutnya analisa struktur dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan karakteristik aliran terhadap karakteristik struktur pada dinding selang fleksibel.

**Definisi Self-Excited Vibrations**

*Self excited vibrations* dalam mekanika fluida adalah sebuah getaran yang berubah menjadi tidak stabil (*unstable*) tanpa adanya gangguan eksternal tetapi dicirikan dengan sebuah kondisi awal yang stabil dalam aliran tunak (*steady flow*). Getaran yang terjadi berkembang dari sebuah aliran dan kemudian menunjukkan peningkatan amplitudo getaran (Pejack, 2006).

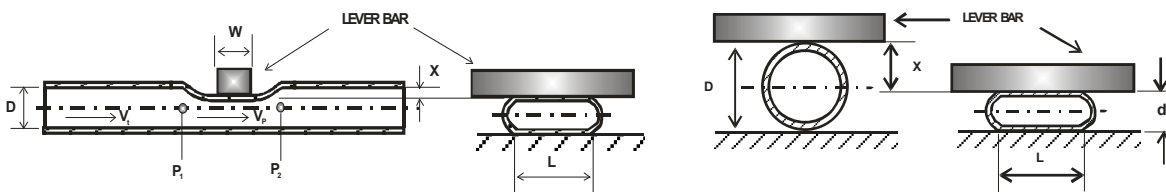
Bentuk umum *self excited vibrations* digunakan karena pendekatan aliran atau sistem aliran fluida adalah *steady flow* dan tanpa diawali gangguan eksternal secara periodik atau mempertahankan getaran. Salah satu aspek yang mempengaruhi terjadinya getaran dengan pembangkitan sendiri adalah adanya perubahan luasan saluran *pinch* yang dilalui oleh aliran fluida (Pejack, 2006).

**Model Matematis Self-Excited Vibrations**

Model matematis sederhana dari sistem fluida yang mengalami *self excited vibrations* dikembangkan untuk mengungkap mekanisme dibalik ketidakstabilan dan memperoleh kriteria untuk ketidakstabilan (Pejack, 2006). Untuk mendapatkan gambaran tentang model matematis, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Variabel-variabel yang digunakan dalam persamaan model matematis adalah :

- $A_t$  : luas penampang *tube*
- $A_p$  : luas penampang jepit
- $D$  : diameter luar *tube*
- $g$  : gravitasi
- $K$  : konstanta elastis pegas ( $K$ ) dari *tube*
- $L$  : panjang kontak batang dengan *tube*
- $m$  : masa tuas dan beban di lokasi jepit
- $P_t$  : tekanan di dalam *tube*
- $P_a$  : tekanan atmosfer
- $P_l$  : tekanan sisi masuk daerah jepit
- $P_2$  : tekanan sisi keluar daerah jepit
- $V_t$  : kecepatan fluida di dalam *tube*
- $V_p$  : kecepatan fluida di daerah jepit
- $W$  : lebar batang tuas
- $x$  : jarak perpindahan *tube* pada daerah jepit
- $x_e$  : jarak perpindahan saat kesetimbangan
- $\alpha$  : rasio luas  $A_p/A_t$
- $\rho$  : densitas fluida
- $\beta$  :  $x/D$



Gambar 1. Model Matematis dan Deformasi Penampang di Daerah Jepitan (*Pinch*)

Dengan menggunakan persamaan differensial gerakan dari hukum Newton kedua diperoleh persamaan sbb :

$$\left[ \frac{\pi W (P_a - P_b)}{4} + \left( \frac{\pi W}{8} \right) \frac{\rho V_t^2}{(1 - (x/D)^2)^2} - K \right] x + mg = m\ddot{x} \tag{1}$$

Kriteria *self excited vibrations* terjadi pada kondisi dimana energi kecepatan lebih besar dibandingkan dengan energi potensial yang berupa tekanan dan konstanta elastis *tube* seperti ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$\frac{\pi W \rho V_t^2}{8} \left[ \frac{1 + 3\beta_e^2}{(1 - \beta_e^2)^3} \right] > K + \frac{\pi W}{4} (P_t - P_a) \quad (2)$$

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang akan digunakan adalah dengan metode analisis simulasi dengan menggunakan bantuan *software* ANSYS untuk menganalisa karakteristik aliran fluida pada saat melewati daerah jepitan. Karakteristik aliran yang dihasilkan berupa perubahan tekanan dan kecepatan aliran fluida pada daerah sebelum dan sesudah jepitan serta daerah tepat dibawah daerah jepitan. Selanjutnya karakteristik aliran tersebut digunakan untuk melakukan analisis karakteristik getaran menggunakan model matematis. Data-data yang diperlukan dalam melakukan simulasi diperoleh dari data eksperimen sebagai data input.

### Variabel Penelitian

Adapun variabel pengujian dalam penelitian ini adalah :

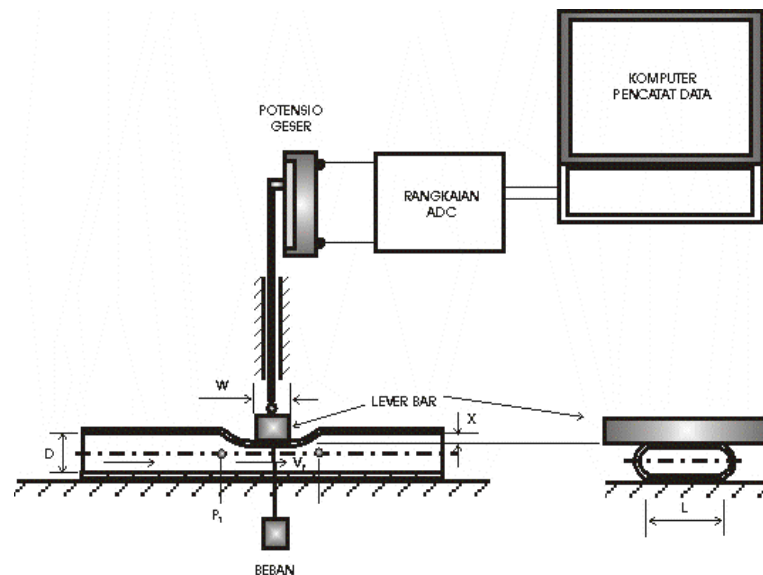
- **Variabel bebas :**  $\alpha$  = rasio jepitan pada *tube* yang dilakukan dengan mengatur besarnya pembebanan
- **Variabel terikat :**  
 $P$  = tekanan fluida di daerah *pinch* (N/m<sup>2</sup>)  
 $V$  = kecepatan aliran di daerah *pinch* (m/dtk)

### Alat yang Digunakan

Adapun peralatan uji yang digunakan (gambar 2) terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut :

- Pompa air (*water pump*)
- Pengukur aliran (*flow meter*)
- Pengukur tekanan (*pressure gauge*)
- Alat pencatat getaran
- *Dial indikator*
- Jangka sorong

### Skema Pengujian



Gambar 2. Skema Alat Uji

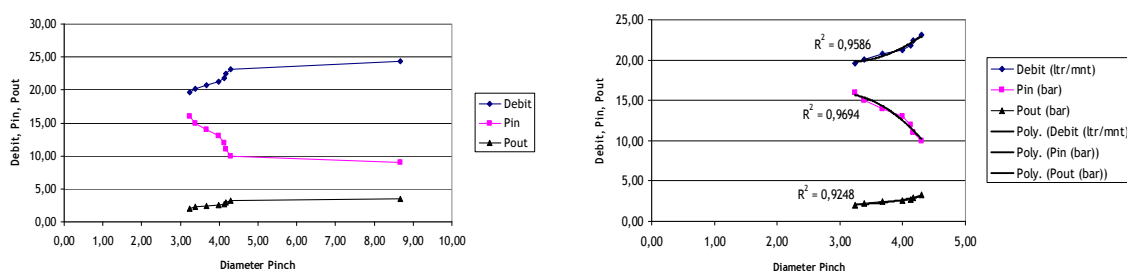
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data Pengujian

Adapun data penelitian yang diperoleh selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan perhitungan seperti ditunjukkan pada tabel 1.

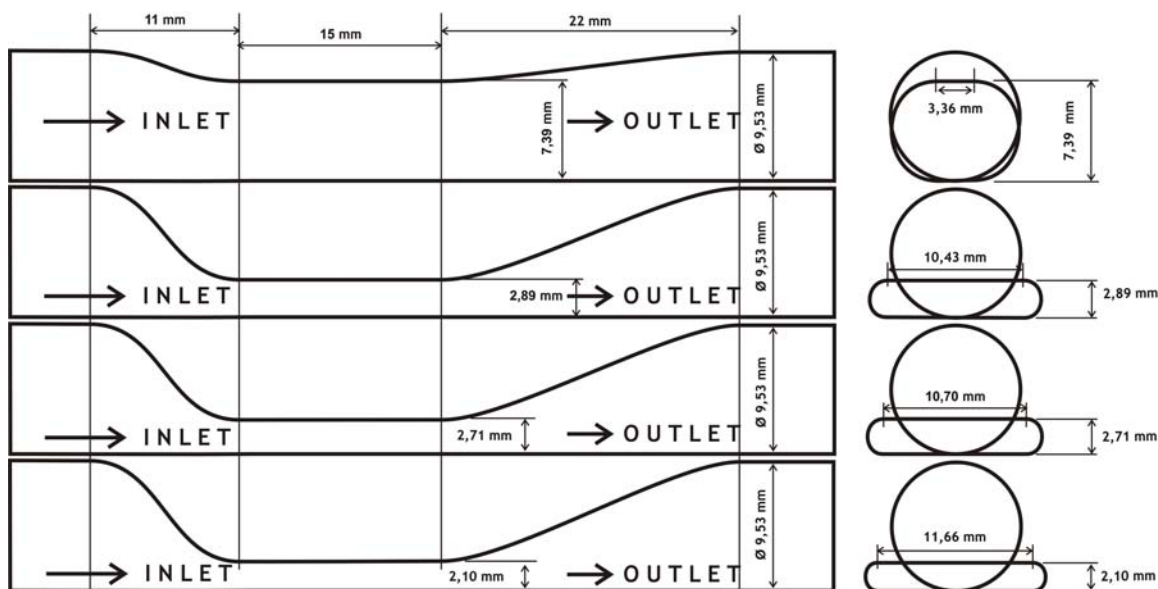
Tabel 1. Pengolahan Data Pengujian

no	Diameter Pinch (mm)				Debit (ltr/mnt)				P <sub>in</sub> (Psi)	P <sub>out</sub> (Psi)			
	Uji-1	Uji-2	Uji-3	Rerata	Uji-1	Uji-2	Uji-3	Rerata		Uji-1	Uji-2	Uji-3	Rerata
1	8.70	8.60	8.70	8.67	24.39	24.39	24.39	24.39	9.00	3.50	3.50	3.50	3.50
2	4.48	4.20	4.20	4.29	23.19	23.19	23.07	23.15	10.00	3.50	3.10	3.10	3.23
3	4.20	4.12	4.18	4.17	22.59	22.59	22.12	22.43	11.00	3.10	2.90	2.80	2.93
4	4.10	4.13	4.15	4.13	22.00	22.00	21.40	21.80	12.00	2.80	2.60	2.70	2.70
5	4.02	4.01	3.95	3.99	21.40	21.16	21.16	21.24	13.00	2.60	2.50	2.60	2.57
6	3.80	3.72	3.51	3.68	20.80	20.80	20.68	20.76	14.00	2.50	2.40	2.40	2.43
7	3.35	3.38	3.42	3.38	20.20	19.96	20.20	20.12	15.00	2.40	2.30	2.00	2.23
8	3.24	3.31	3.16	3.24	19.60	19.60	19.60	19.60	16.00	2.20	1.90	1.80	1.97



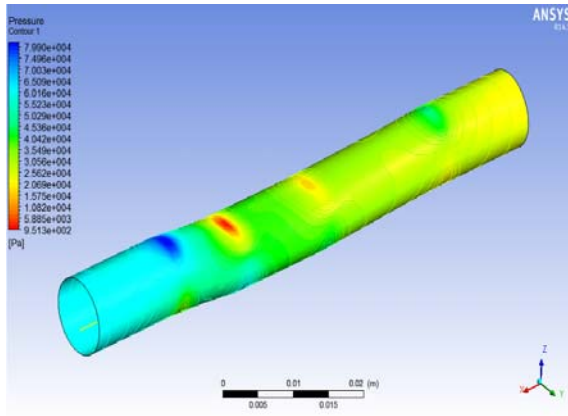
Gambar 3. Karakteristik Aliran Antara Diameter Pinch dan Debit

Berdasarkan data pada tabel 1 digunakan sebagai data untuk penggambaran geometri model yang akan dianalisa menggunakan software ANSYS untuk membuat simulasi aliran fluida dalam tube. Terdapat 4 model geometri yang digunakan untuk membandingkan karakteristik aliran fluida di dalam tube dengan ANSYS.

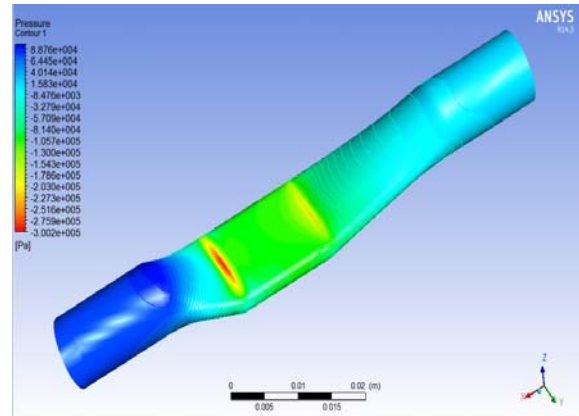


Gambar 4. Model Geometri Simulasi ANSYS

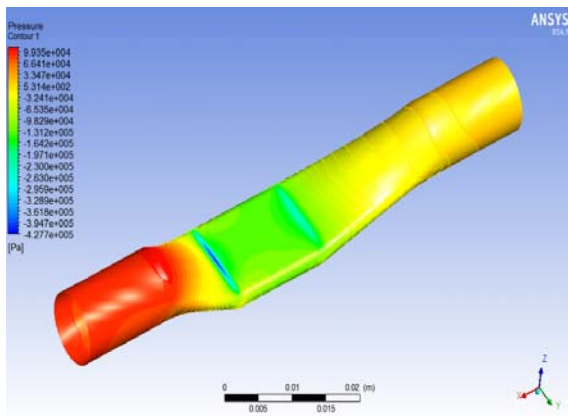
Hasil simulasi ANSYS karakteristik aliran (Gambar 5) berdasarkan model geometrinya sebagai berikut :



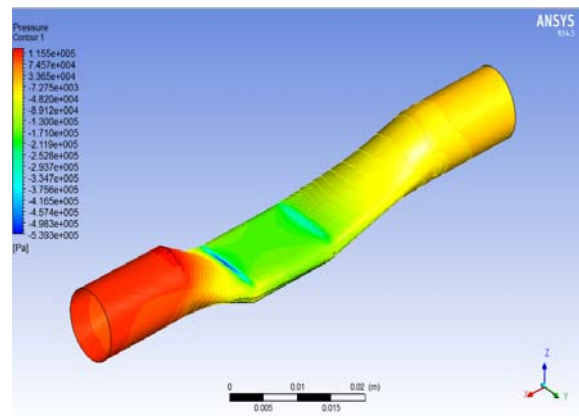
Model Geometri-1



Model Geometri-2

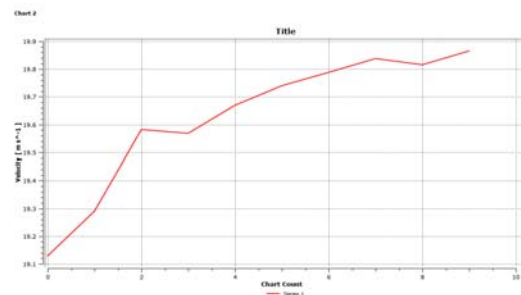
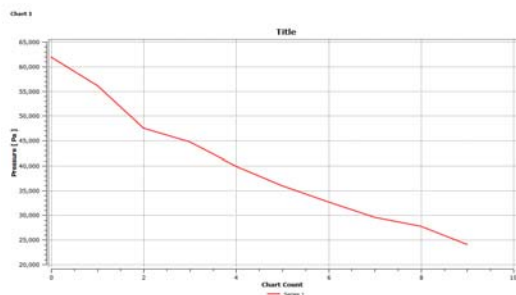


Model Geometri-3

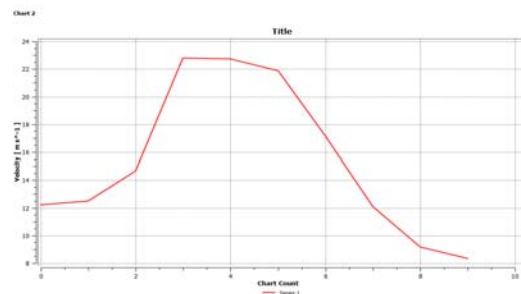
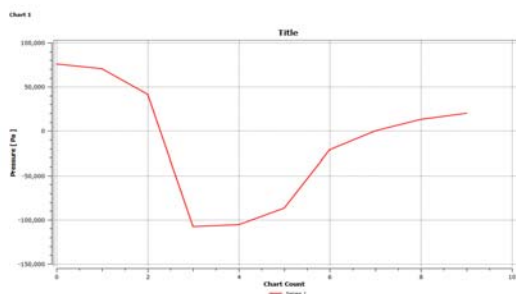


Model Geometri-4

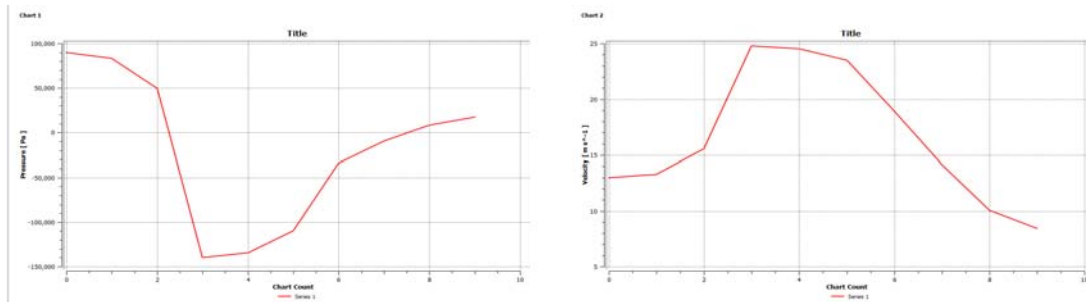
Gambar 5. Hasil Simulasi Model Geometri



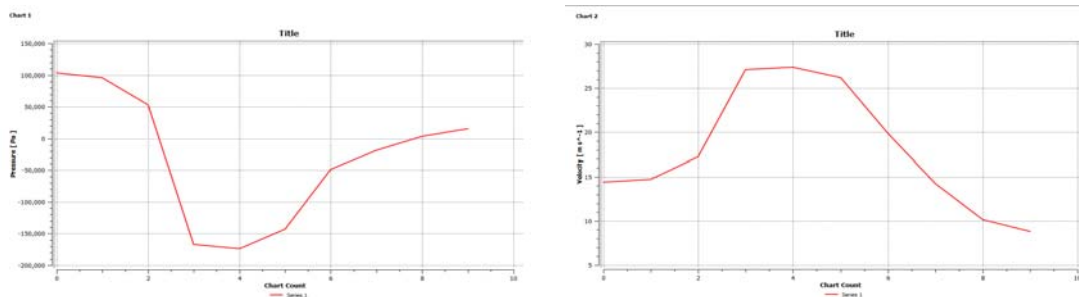
Gambar 6. Karakteristik Aliran Fluida Model Geometri-1



Gambar 7. Karakteristik Aliran Fluida Model Geometri-2



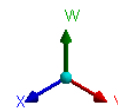
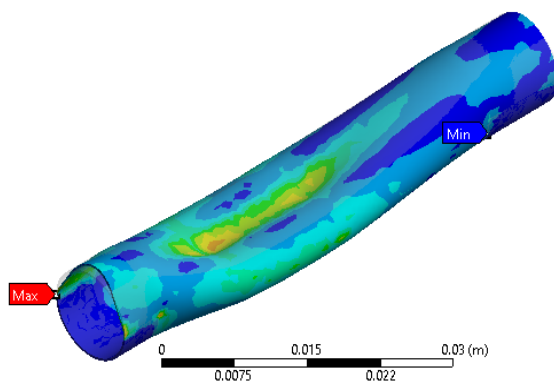
Gambar 8. Karakteristik Aliran Fluida Model Geometri-3



Gambar 9. Karakteristik Aliran Fluida Model Geometri-4

**B: GEOMETRI 1 Static Structural**  
 Equivalent Stress  
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
 Unit: Pa  
 Time: 1  
 19-Aug-14 7:05 PM

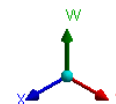
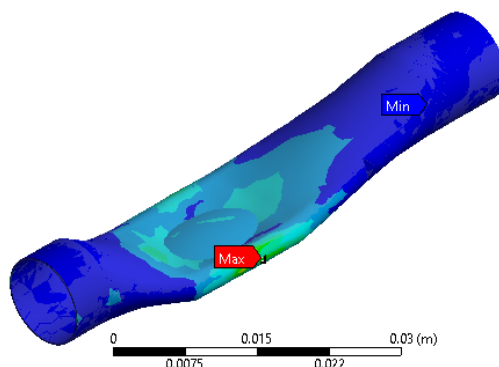
9.7168e7 Max  
 8.6372e7  
 7.5576e7  
 6.478e7  
 5.3984e7  
 4.3188e7  
 3.2392e7  
 2.1596e7  
 1.08e7  
 3594.4 Min



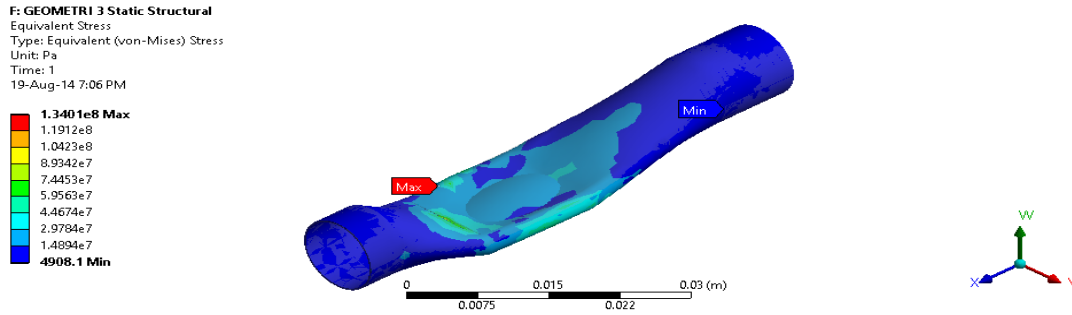
Gambar 10. Simulasi Tegangan Struktur Model Geometri-1

**D: GEOMETRI 2 Static Structural**  
 Equivalent Stress  
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
 Unit: Pa  
 Time: 1  
 19-Aug-14 7:06 PM

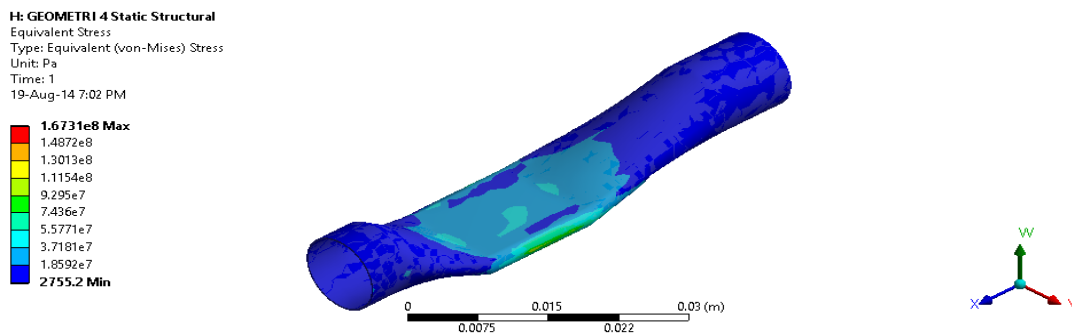
9.8285e7 Max  
 8.7366e7  
 7.6447e7  
 6.5527e7  
 5.4608e7  
 4.3688e7  
 3.2769e7  
 2.185e7  
 1.093e7  
 11069 Min



Gambar 11. Simulasi Tegangan Struktur Model Geometri-2



Gambar 12. Simulasi Tegangan Struktur Model Geometri-3



Gambar 13. Simulasi Tegangan Struktur Model Geometri-4

Berdasarkan nilai tekanan dan kecepatan hasil pengujian maka dapat dilakukan penghitungan frekwensi berdasarkan persamaan model matematis. Hasil perhitungan frekwensi model matematis ditunjukkan dengan tabel 3 berikut.

Tabel 3. Frekwensi Model Matematis

m (kg)	(P <sub>i</sub> -P <sub>a</sub> ) KN/m <sup>2</sup>	Kecepatan Aliran V <sub>t</sub> m/dtk	K	W	ρ	βe	K <sub>sistem</sub> (N)	ω = √(K/m)	f = ω/2π
0.20	62.05	5.70	1723.6	0.01	1000	0.776	-4474.17	#NUM!	#NUM!
0.20	68.95	5.41	1723.6	0.01	1000	0.316	2126.85	103.12	16.42
0.20	75.84	5.25	1723.6	0.01	1000	0.303	2217.35	105.29	16.77
0.20	82.74	5.10	1723.6	0.01	1000	0.299	2297.64	107.18	17.07
0.20	89.63	4.97	1723.6	0.01	1000	0.285	2381.81	109.13	17.38
0.20	96.53	4.85	1723.6	0.01	1000	0.252	2472.25	111.18	17.70
0.20	103.42	4.70	1723.6	0.01	1000	0.221	2559.03	113.12	18.01
0.20	110.32	4.58	1723.6	0.01	1000	0.205	2635.95	114.80	18.28

### Pembahasan

Tekanan awal fluida di dalam *tube* tanpa adanya beban penjepit sebesar 6 psi (4,1 . 10<sup>4</sup> Pa) ditunjukkan pada pembacaan manometer yang terpasang pada sisi *inlet*. Pada model geometri-1 dengan *d<sub>out pinch</sub>* = 8,67 mm terjadi peningkatan tekanan pada *inlet* menjadi 9 psi (6,2 . 10<sup>4</sup> Pa). Hal ini terjadi karena dengan perubahan penampang diameter *pinch* yang mengecil maka tekanan fluida akan meningkat. Dengan semakin kecil diameter *pinch* maka tekanan sisi *inlet* akan semakin besar karena fluida tertahan memasuki daerah *pinch*. Hal ini berdampak pada tekanan sisi *outlet* semakin menurun dan pada tekukan memasuki daerah *pinch* terjadi *pressure drop*. Pada contour tekanan yang dihasilkan oleh model geometri menunjukkan adanya daerah dengan aliran yang mengalami *pressure drop* pada tekukan memasuki daerah *pinch*. Tetapi pada hasil simulasi model geometri 1 belum menunjukkan terjadinya *pressure drop* pada contour tekanannya karena *pinch ratio* yang diberikan belum menghasilkan kondisi kritis untuk terjadinya *self excited vibration*.

Penurunan tekanan fluida di dalam *tube* justru akan meningkatkan kecepatan aliran fluida. Hal ini sesuai dengan konsep kontinuitas aliran Hukum Bernoulli, dimana pada daerah *pinch* terjadi

pengurangan luasan penampang sehingga kecepatan aliran fluida justru akan meningkat. Semakin menyempit daerah *pinch* maka semakin tinggi kecepatan aliran dan diikuti dengan penurunan tekanan fluida. Fenomena tersebut dapat dilihat pada gambar 6, 7, 8, 9 karakteristik aliran fluida pada hasil simulasi keempat model geometri yang ada.

Berdasarkan tinjauan konsep energi bahwa energi yang dimiliki oleh fluida selama mengalir di dalam *tube* adalah konstan. Pada saat terjadi perubahan penampang yang dilewati fluida di daerah *pinch* maka akan terjadi perubahan karakteristik aliran yaitu antara tekanan fluida dan kecepatan aliran. Saat fluida memasuki daerah *pinch* pada sisi *inlet* aliran akan tertahan sehingga tekanan fluida meningkat dan kecepatan aliran menurun. Di daerah *pinch* selanjutnya akan terjadi penurunan tekanan karena fluida tertahan di sisi *inlet*, tetapi justru fluida harus mengalir dengan kecepatan yang lebih tinggi untuk mempertahankan debit aliran sesuai Hukum Kontinuitas aliran.

Perubahan karakteristik aliran antara tekanan fluida dan kecepatan aliran tersebut menunjukkan adanya bentuk pertukaran energi antara energi potensial berupa tekanan fluida dan energi kinetik berupa kecepatan aliran. Siklus perubahan energi tersebut akan silih berganti sehingga memunculkan fenomena getaran yang disebut dengan *self excited vibrations*.

Terkait dengan analisa frekwensi model matematis yang ditunjukkan dalam tabel 3, dapat dijelaskan bahwa frekwensi osilasi yang terjadi pada saat *self excited vibrations* terjadi berkisar antara 16 sampai 18 Hz. Sedangkan nilai frekwensi model untuk data pertama tidak menghasilkan sebuah nilai dari perhitungan karena  $K_{\text{sistem}}$  pada data tersebut menghasilkan nilai negatif. Hal ini menunjukkan bahwa energi potensial yang dimiliki oleh sistem berupa tekanan dan konstanta elastis selang masih lebih besar dari energi kecepatan aliran yang terjadi. Pada kondisi ini nilai *pinch ratio* yang diberikan pada selang belum mencapai nilai kritis sehingga *self excited vibrations* belum terjadi.

Berdasarkan *material properties* dari bahan selang yaitu polypropelene memiliki kekuatan tarik sebesar 4000 psi ( $2,758 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ ) dan deformasi pada kondisi luluh 23%. Hasil simulasi struktur model ANSYS menunjukkan tegangan rata-rata berkisar pada  $2,15 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$  dengan *elongation* sebesar 2,8%. Secara teknis dapat dinyatakan bahwa kondisi tersebut masih dalam batas ijin yang ditentukan.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi model geometri dengan menggunakan ANSYS dapat disimpulkan bahwa semakin besar *pinch ratio* yang diberikan pada *tube* maka tekanan pada sisi *inlet* meningkat sedangkan sisi *outlet* menurun. Di daerah *pinch* terjadi perubahan karakteristik aliran yaitu terjadinya *pressure drop* dimana tekanan fluida menurun tajam sedangkan kecepatannya justru meningkat drastis. Hal ini menunjukkan adanya konversi energi dari energi tekanan menjadi energi kecepatan pada aliran fluida.

Frekwensi yang dihasilkan dari persamaan model matematis *self excited vibrations* menunjukkan kisaran antara 16 – 18 Hz.

## DAFTAR PUSTAKA

- Hazel, L., and Matthias Heil, 2003. *Finite-Reynolds-Number Flows In Three-Dimensional Collapsible Tubes*, J. Fluid Mech., vol. 486, pp. 79–103. @ 2003 Cambridge University Press 79 DOI: 10.1017/S0022112003004671, United Kingdom
- Heil, Matthias, And Sarah L. Waters, 2006. *Transverse Flows In Rapidly Oscillating Elastic Cylindrical Shells*, J. Fluid Mech., vol. 547, pp. 185–214. @ 2006 Cambridge University Press 185 DOI : 10.1017/S0022112005007214, United Kingdom
- Pejack, E. R., 2006. *Apparatus For Demonstrating Self-excited Vibrations In Fluid Flow*, Department of Mechanical Engineering, University of the Pacific, Stockton, California 95211, USA
- Prolite, 2008, *Polypropylene Tubing*, © NewAge Industries, Inc. <http://www.newageindustries.com>, May 2009.
- Sufiyanto, 2010, Pengaruh Kapasitas Aliran Terhadap Karakteristik Getaran Pada Aliran Fluida Yang Mengalami *Self Excited Vibration*, Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang
- Sufiyanto, 2010, Karakteristik *Self Excited Vibration* Pada Aliran Fluida Dalam Pipa Fleksibel, Jurnal Transmisi Vol-VI Edisi-1/ Hal. 557 – 566, ISSN : 0216-3233, Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang
- Wardana, I.N.G., 2000. Getaran Pipa Akibat Aliran Fluida, Proc. Piping Technology Seminar 2000, p. 213-221