

MODEL KARAKTERISTIK *SELF EXCITED VIBRATIONS* ALIRAN FLUIDA AKIBAT PERUBAHAN KONSTANTA ELASTIS *TUBE*

Sufiyanto^{1*}, I Made Sunada², Boe Tong Widada³

^{1,2,3}Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang,

Jl. Terusan Raya Dieng 62-64 Malang, 65146

*sufiyanto@unmer.ac.id

ABSTRAK

Analisis eksperimental pada penelitian ini dilakukan untuk memperoleh karakteristik *self excited vibrations* secara aktual. Karakteristik *self excited vibrations* hanya dapat diamati pada kondisi kritis yang mempunyai nilai *pinch ratio* tertentu. Pengambilan data dengan alat ukur getaran (*vibrations meter*) untuk mengukur karakteristik getaran yang terjadi berupa frekwensi, amplitudo dan analisis FFT (*Fast Fourier Transform*). Perubahan konstanta elastis selang menghasilkan frekwensi getaran pada rentang 5,83 Hz – 10,00 Hz. Sedangkan amplitudo getaran yang dihasilkan menurun dengan berkurangnya kecepatan aliran yaitu pada rentang 0,30 mm – 1,95 mm. Pengaruh perubahan konstanta elastis selang juga dapat dinyatakan dengan parameter indeks kecepatan (S). Indeks kecepatan yang dihasilkan pada selang dengan konstanta K_3 menghasilkan rentang $S_3 = 2,61 - 3,37$, K_2 menghasilkan rentang $S_2 = 2,69 - 3,51$, dan K_1 menghasilkan rentang $S_1 = 2,82 - 3,71$. Selain itu penurunan *pinch ratio* (β_e) menyebabkan indeks kecepataannya juga menurun karena kekakuan sistem akan meningkat akibat meningkatnya tekanan fluida. Parameter lain yang menunjukkan pengaruh konstanta elastis selang adalah bilangan Womersley (α) dan angka Strouhal (S_t). Pada selang dengan konstanta K_3 menghasilkan rentang angka Strouhal $S_{t3} = 0,30 - 0,38$, K_2 menghasilkan $S_{t2} = 0,29 - 0,37$, dan K_1 menghasilkan $S_{t1} = 0,27 - 0,35$. Selain itu pada selang dengan konstanta K_3 menghasilkan rentang $\alpha_3 = 65,35 - 68,38$, K_2 menghasilkan $\alpha_2 = 64,07 - 67,24$, dan K_1 menghasilkan $\alpha_1 = 62,26 - 65,69$. Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah parameter bilangan Womersley (α) dan angka Strouhal (S_t) meningkat dengan bertambahnya konstanta elastis selang dan kekakuan sistem. Sedangkan indeks kecepatan (S) menurun dengan meningkatnya konstanta elastis selang.

Kata Kunci : Analisis Eksperimental, *Self Excited Vibrations*, Spektrum Frekwensi, Karakteristik Getaran

ABSTRACT

The experimental analysis in this research conducted to obtain the actual characteristics of *self excited vibrations*. The characteristics of *self excited vibrations* can only be observed in a critical condition which has a certain value of ratio pinch. Collecting data with vibration measuring devices (*vibrations meter*) to measure the characteristics of vibration that occurs in the form of frequency, amplitude and FFT analysis (*Fast Fourier Transform*). Changes in elastic constants tube generates vibrations at frequency ranges 5.83 Hz – 10.00 Hz. While the amplitude of vibrations generated decreases with decreasing flow rate is in the range of amplitudes 0.30 mm – 1.95 mm. Effects of changes in the elastic constants tube can also be expressed with an speed index parameter (S). The resulting speed index in the tube with a constant K_3 produces ranges $S_3 = 2.61 - 3.37$, K_2 produces ranges $S_2 = 2.69 - 3.51$, K_1 produces ranges of $S_1 = 2.82$ to 3.71. Besides the decrease in the pinch ratio caused speed index also decreases because stiffness of the system will increase due to increased fluid pressure. Another parameters that show the influence of the tube elastic constants is Womersley number (α) and the Strouhal number (S_t). The tube with constant K_3 produces range $S_{t3} = 0.30$ to 0.38, K_2 produces $S_{t2} = 0.29$ to 0.37, and K_1 produces $S_{t1} = 0.27- 0.35$. In addition to the tube with a constant K_3 produces ranges $\alpha_3 = 65.35$ to 68.38, K_2 produces $\alpha_2 = 64.07$ to 67.24, and K_1 produces $\alpha_1 = 62.26$ to 65.69. The conclusions of this research are the number Womersley parameter (α) and the Strouhal number (S_t) increases with constant elastic tube and stiffness of the system. While speed index (S) decreases with increasing of the tube elastic constants.

Keywords : *Experimental Analysis, Self Excited Vibrations, Spectral Frequency, Vibration Characteristics*

LATAR BELAKANG

Analisis simulasi model diperlukan untuk memperoleh data yang bersifat prediktif dengan berbagai model simulasi dengan bantuan software. Informasi yang diperoleh dapat digunakan untuk membantu analisis eksperimental sehingga mampu memprediksi variabel yang akan ditetapkan dalam pengujian eksperimental.

Berdasarkan hasil analisis simulasi model dengan bantuan software ANSYS diperoleh informasi bahwa fenomena *self excited vibrations* mulai terjadi pada *pinch ratio* $\beta = 0,4$. Karena pada nilai *pinch ratio* tersebut terjadi peningkatan *pressure drop* dimana kondisi tersebut merupakan saat kritis stabilitas sistem mulai terganggu. Kekakuan sistem mengalami penurunan sehingga energi potensial yang menahan beban penjepit menjadi berkurang dan selang akan mengalami penyempitan. Selain itu dapat diperoleh data tekanan dan kecepatan yang terjadi di daerah jepit (*pinch area*) yang dapat digunakan untuk menentukan karakteristik getaran dengan persamaan matematis.

Karakteristik getaran yang dihasilkan berdasarkan penyelesaian persamaan matematis ini dapat dibandingkan dengan karakteristik yang dihasilkan dari pengambilan data eksperimental dengan menggunakan alat ukur getaran (*vibrations meter*). Lingkup penelitian ini membahas bagaimana karakteristik getaran dalam aliran fluida yang mengalami *self-excited vibrations* dengan analisis eksperimental.

Adapun tujuan penelitian ini adalah menganalisa secara eksperimental karakteristik getaran pada aliran fluida yang mengalami *self excited vibrations* dan pengaruh perubahan konstanta elastis pegas (K) dari selang (*tube*) yang ditunjukkan dengan frekwensi dan amplitudo getaran yang dihasilkan pada saat terjadi getaran yang dibangkitkan sendiri (*self-excited vibrations*).

Sesuai dengan tujuan penelitian yang ingin dicapai, maka manfaat yang dapat diperoleh dengan mengetahui karakteristik aliran fluida pada saat terjadi getaran yang dibangkitkan sendiri (*self-excited vibrations*) adalah :

1. bagi **perkembangan teknologi** sistem perpipaan, dapat dikembangkannya sistem

peredaman getaran pada instalasi perpipaan dan sistem operasi aman untuk menghindari terjadinya *self excited vibration*.

2. bagi **dunia industri**, dapat mengurangi dampak kerugian akibat timbulnya keretakan dan pembengkokan pada pipa serta kerugian energi akibat fluktuasi aliran fluida dalam pipa yang mengalami getaran dengan cara menghindari terjadinya kondisi *self excited vibration* dalam sistem perpipaan.

Target khusus yang menjadi **keutamaan** dalam **penelitian** ini yang diperoleh dengan mengetahui karakteristik aliran fluida pada saat terjadi *self-excited vibrations* adalah bagi perkembangan iptek mendorong inovasi dalam pengembangan **sistem peredaman getaran** dan **analisis tegangan** pada instalasi sistem perpipaan yang dapat meningkatkan **optimalisasi** perancangan sistem perpipaan.

Definisi Self-Excited Vibrations

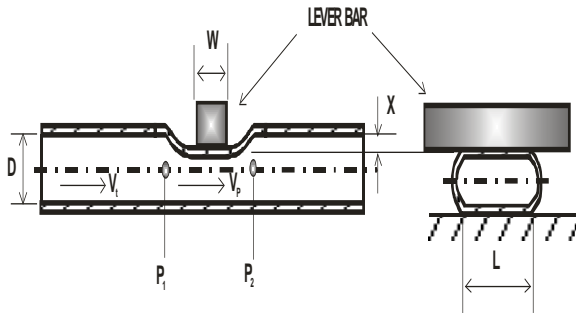
Self-excited vibrations dalam mekanika fluida adalah sebuah getaran yang berubah menjadi tidak stabil (*unstable*) tanpa adanya gangguan eksternal tetapi dicirikan dengan sebuah kondisi awal yang stabil dalam aliran tunak (*steady flow*). Getaran yang terjadi berkembang dari sebuah aliran dan kemudian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

Bentuk umum *self-excited vibrations* digunakan karena pendekatan aliran atau sistem aliran fluida adalah aliran tunak 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

Model matematis sederhana dari getaran *self-excited* dikembangkan untuk mengungkap mekanisme dibalik ketidakstabilan dan memperoleh kriteria untuk ketidakstabilan (Pejack, 2006). Untuk memberikan gambaran

tentang model matematis, dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini.

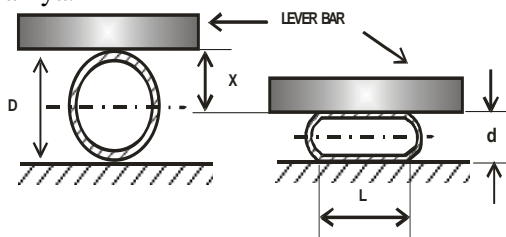


Gambar 1. Model Matematis

Variabel-variabel yang digunakan dalam persamaan model matematis adalah sebagai berikut :

- A_t : luas penampang selang
- A_p : luas penampang jepit
- D : diameter luar selang
- g : gravitasi
- K : konstanta elastis pegas (K) dari selang (tube)
- L : panjang kontak antara batang dengan selang
- m : masa tuas dan beban di lokasi jepit
- P_t : tekanan di dalam selang
- P_a : tekanan atmosfer
- P_1 : tekanan sisi masuk daerah jepit
- P_2 : tekanan sisi keluar daerah jepit
- V_t : kecepatan fluida di dalam selang
- V_p : kecepatan fluida di daerah jepit
- W : lebar batang tuas
- x : jarak perpindahan selang pada daerah jepit
- x_e : jarak perpindahan saat kesetimbangan
- α : rasio luas A_p/A_t
- ρ : densitas fluida
- β : x/D

Rasio luasan α , tergantung pada perpindahan x batang pada lokasi jepitan. Gambar berikut menunjukkan asumsi bentuk deformasi penampang lintang lingkaran awalnya.



Gambar 2. Deformasi Penampang di Daerah Jepitan (Pinch)

Persamaan Getaran

Pendekatan matematis untuk menentukan kriteria stabilitas dan mekanisme terjadinya *self excited vibrations* telah diuraikan diatas. Getaran yang dihasilkan dari mekanisme ini adalah sistem getaran harmonik dimana terjadi gerakan osilasi berulang secara teratur. Dalam sistem getaran mekanik, gerakan seperti ini dihasilkan oleh mekanisme massa dan pegas yang menghasilkan persamaan getaran bebas sesuai hukum Newton kedua sebagai berikut :

$$m\ddot{x} + kx = 0 \tag{1}$$

Persamaan dari model matematis pada gambar 1, adalah :

$$m\ddot{x}_1 + \left\{ \begin{array}{l} \left[K + \frac{\pi W}{4} (P_t - P_a) \right] \\ - \left[\frac{\pi W \rho V_t^2 (1 + 3\beta_e^2)}{8(1 - \beta_e^2)^3} \right] \end{array} \right\} x_1 = 0 \tag{2}$$

Dimana besaran yang terdapat dalam tanda kurung pada ruas kiri persamaan merupakan nilai konstanta elastis pegas pada sistem getaran mekanik.

Persamaan gerak yang dihasilkan oleh sistem getaran bebas secara umum dinyatakan dengan persamaan :

$$x = A \sin \omega_n t \tag{3}$$

Dimana ω_n menyatakan kecepatan sudut yang berhubungan dengan frekwensi sistem yang dinyatakan dengan hubungan

$$f = \frac{1}{2\pi} \omega_n \tag{4}$$

Dan $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ yang diperoleh dari persamaan 2,

sehingga nilai kecepatan sudut ω_n dari persamaan getaran *self excited* persamaan 4 adalah

$$\omega_n = \sqrt{\frac{\left[\begin{array}{l} \left[K + \frac{\pi W}{4} (P_t - P_a) \right] \\ - \left[\frac{\pi W \rho V_t^2 (1 + 3\beta_e^2)}{8(1 - \beta_e^2)^3} \right] \end{array} \right]}{m}} \tag{5}$$

Interaksi Struktur-Fluida

Hubungan interaksi antara elastisitas dinding dengan fluida yang mengalir dalam selang dapat dinyatakan dengan persamaan non dimensional yaitu berupa bilangan Womersley dan Strouhal (Heil dan Waters, 2006) :

Bilangan Womersley :

$$\alpha = \left(\frac{a}{\mu} \right)^{1/2} (K \cdot \rho)^{1/4} \quad (6)$$

dengan a = radius selang

μ = viskositas fluida

K = elastisitas pegas (K) dari selang (*tube*)

ρ = densitas fluida

Bilangan Strouhal :

$$S_i = \frac{1}{U} \left(\frac{K}{\rho} \right)^{1/2} \quad (7)$$

dengan U = kecepatan aliran fluida

Selain itu hubungan antara inersia fluida dan kekakuan bending (K) dari selang dinyatakan dengan parameter kecepatan (S) yang ditentukan dengan persamaan berikut : (Hazel dan Heil, 2003)

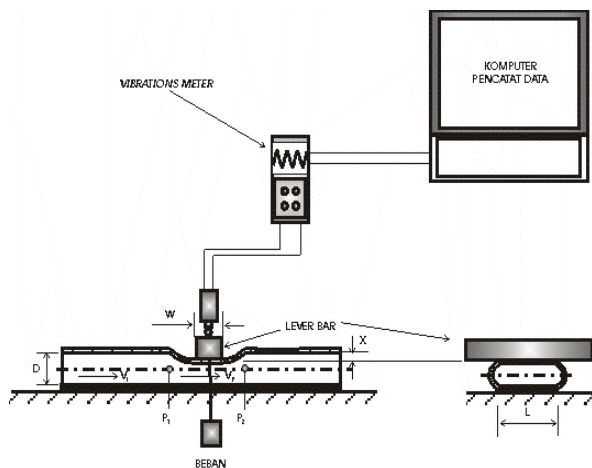
$$S^2 = \frac{\rho \cdot U^2}{K} \left[\frac{1}{\alpha^3} \left(\frac{\partial \zeta}{\partial \alpha} \right)^{-1} \right] \quad (8)$$

dengan α = rasio luas penampang selang dengan luas tak terdeformasi.

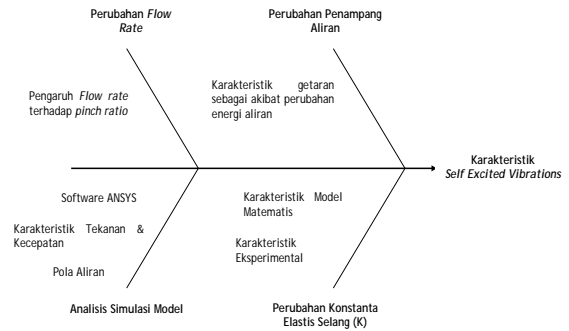
METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah melakukan analisis data pengukuran secara eksperimental menggunakan alat ukur getaran (*vibration meter*) untuk memperoleh karakteristik getaran pada aliran fluida mengalami *self excited vibrations*.

Skema pengujian



Gambar 3. Skema Alat Uji



Gambar 4. Karakteristik Self Excited Vibrations

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Pengujian

Pengujian yang dilakukan dilakukan dengan cara pengukuran getaran menggunakan DataView TV310(320) V1.0. Hasil pengukuran getaran dilanjutkan dengan analisis FFT (*Fast Fourier Transform*) karakteristik *Self Excited Vibrations* yang dihasilkan oleh aliran sistem fluida dalam pengujian ini. Adapun data pengujian yang diperoleh sebagai berikut :

Tabel 1. Data Pengujian

m (kg)	$(P_1 - P_2)$ KN/m^2	Kecepatan Aliran V_i m/dtk	K (Nm)	W	ρ	β_e	K_{sistem} (KN/m)	$\omega = \sqrt{K/m}$	$f = \omega / 2\pi$
0.40	62.05	5.70	1723.6	0.012	1000	0.776	-4.47	#NUM!	#NUM!
0.40	68.95	5.41	1723.6	0.012	1000	0.316	2.13	72.92	11.61
0.40	75.84	5.25	1723.6	0.012	1000	0.303	2.22	74.45	11.86
0.40	82.74	5.10	1723.6	0.012	1000	0.299	2.30	75.79	12.07
0.40	89.63	4.97	1723.6	0.012	1000	0.285	2.38	77.17	12.29
0.40	96.53	4.85	1723.6	0.012	1000	0.252	2.47	78.62	12.52
0.40	103.42	4.70	1723.6	0.012	1000	0.221	2.56	79.98	12.74
0.40	110.32	4.58	1723.6	0.012	1000	0.205	2.64	81.18	12.93
0.40	62.05	5.70	1981.5	0.012	1000	0.776	-4.22	#NUM!	#NUM!
0.40	68.95	5.41	1981.5	0.012	1000	0.316	2.38	77.21	12.30
0.40	75.84	5.25	1981.5	0.012	1000	0.303	2.48	78.66	12.53
0.40	82.74	5.10	1981.5	0.012	1000	0.299	2.56	79.93	12.73
0.40	89.63	4.97	1981.5	0.012	1000	0.285	2.64	81.24	12.94
0.40	96.53	4.85	1981.5	0.012	1000	0.252	2.73	82.62	13.16
0.40	103.42	4.70	1981.5	0.012	1000	0.221	2.82	83.92	13.36
0.40	110.32	4.58	1981.5	0.012	1000	0.205	2.89	85.06	13.54
0.40	62.05	5.70	2178.5	0.012	1000	0.776	-4.02	#NUM!	#NUM!
0.40	68.95	5.41	2178.5	0.012	1000	0.316	2.58	80.34	12.79
0.40	75.84	5.25	2178.5	0.012	1000	0.303	2.67	81.74	13.02
0.40	82.74	5.10	2178.5	0.012	1000	0.299	2.75	82.95	13.21
0.40	89.63	4.97	2178.5	0.012	1000	0.285	2.84	84.21	13.41
0.40	96.53	4.85	2178.5	0.012	1000	0.252	2.93	85.54	13.62
0.40	103.42	4.70	2178.5	0.012	1000	0.221	3.01	86.80	13.82
0.40	110.32	4.58	2178.5	0.012	1000	0.205	3.09	87.90	14.00

Tabel 2. Karakteristik Getaran dengan Variasi Kecepatan Aliran dan Konstanta Elastis Tube

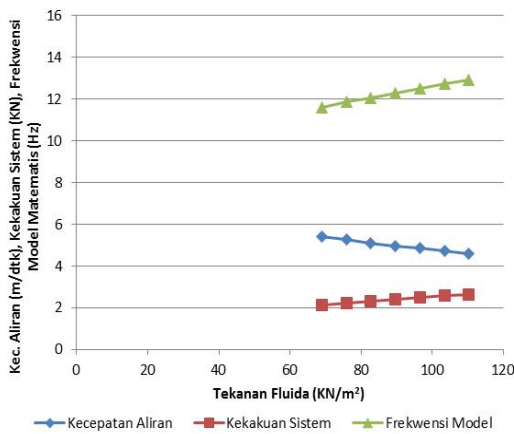
Kecepatan Aliran	K ₃			K ₂			K ₁		
	Displ	f	a	Displ	f	a	Displ	f	a
Bukaan-V ₁	0.24	10.00	1.58	0.32	5.50	0.71	0.27	6.25	0.50
	0.20	9.75	1.24	0.21	6.50	2.89	0.18	6.00	0.70
	0.20	10.00	1.10	0.10	6.50	2.25	0.22	6.25	0.89
Rata-Rata	0.21	9.92	1.31	0.21	6.17	1.95	0.22	6.17	0.70
Bukaan-V ₂	0.14	9.75	1.25	0.20	6.75	1.31	0.22	6.25	0.83
	0.14	10.50	0.95	0.36	6.75	0.84	0.20	6.00	0.83
	0.22	9.50	0.87	0.31	7.00	1.12	0.23	6.25	0.92
Rata-Rata	0.17	9.92	1.02	0.29	6.83	1.09	0.22	6.17	0.86
Bukaan-V ₃	0.06	8.25	0.44	0.04	6.00	0.08	0.19	5.75	0.67
	0.06	8.25	0.48	0.13	6.75	0.69	0.18	5.75	0.82
	0.06	8.00	0.43	0.02	7.00	0.13	0.21	6.00	0.88
Rata-Rata	0.06	8.17	0.45	0.06	6.58	0.30	0.19	5.83	0.79

Keterangan :

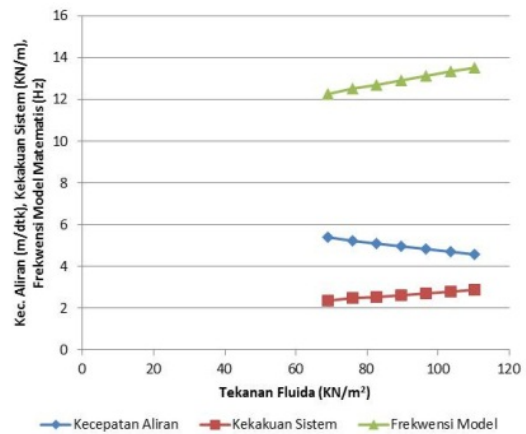
- $1 =$ Kecepatan aliran 5,41 m/dtk

- $2 =$ Kecepatan aliran 5,10 m/dtk
- $3 =$ Kecepatan aliran 4,70 m/dtk
- $1 =$ Konstanta elastis selang 1723,6 N/m
- $2 =$ Konstanta elastis selang 1981,5 N/m
- $3 =$ Konstanta elastis selang 2178,5 N/m

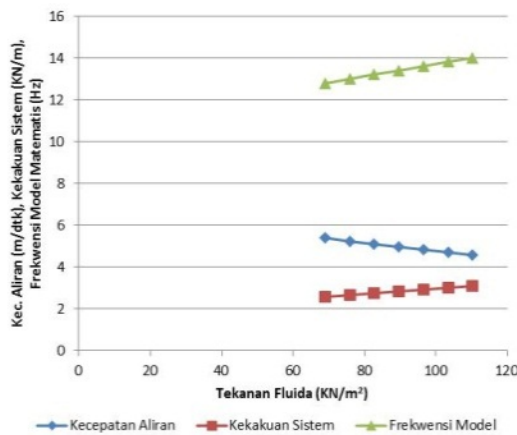
Karakteristik frekwensi getaran yang diperoleh pada pengolahan data tersebut dilakukan dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan 2 dan persamaan 5. Selanjutnya grafik karakteristik getaran dapat dilihat pada grafik 1 berikut dibawah ini.



a. $K_1 = 1723,6$ N/m



b. $K_2 = 1981,5$ N/m

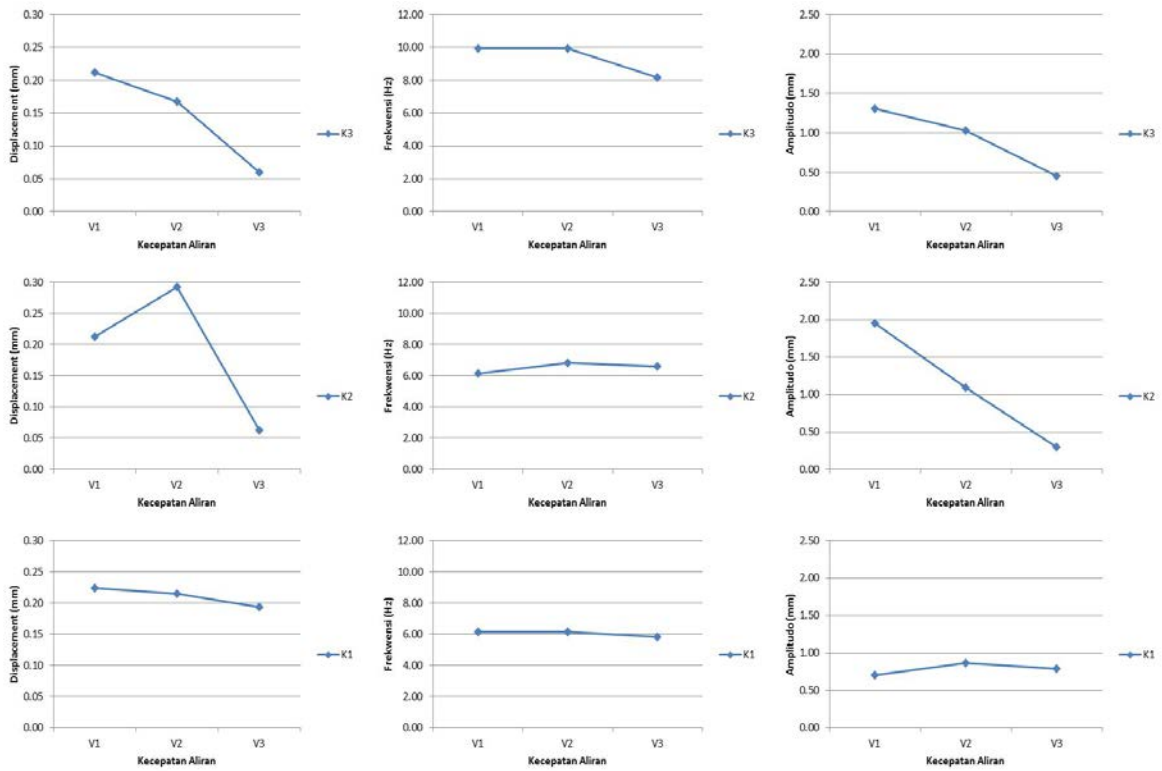


c. $K_3 = 2178,5$ N/m

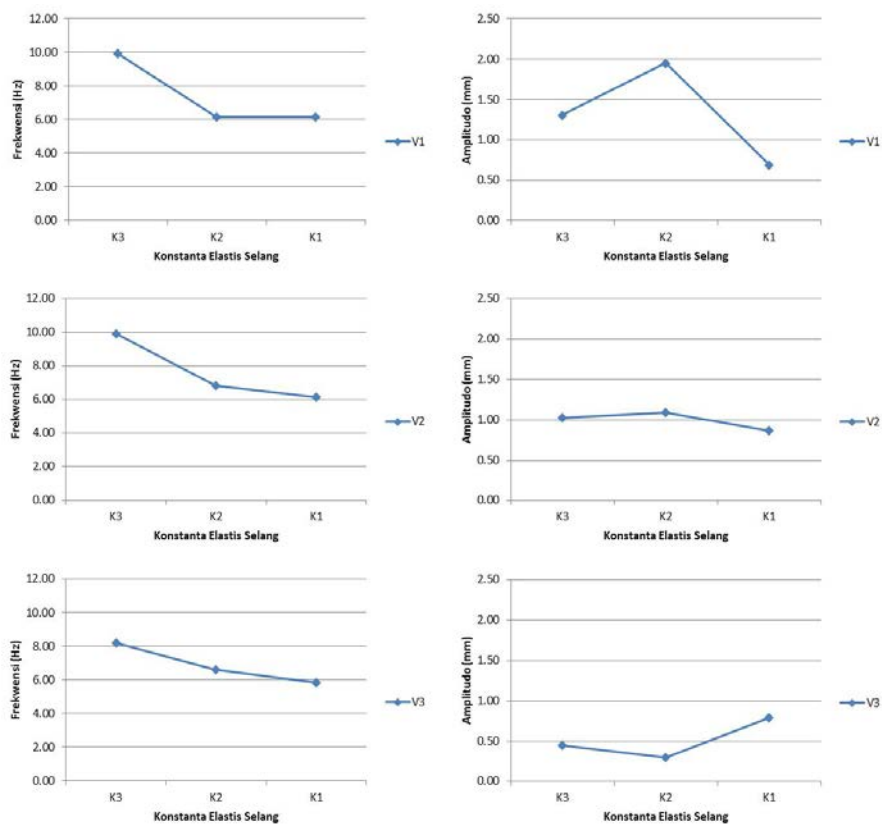
d.

Grafik 1. Karakteristik Self Excited Vibrations Dengan Variasi Konstanta Elastis Selang

(Tube)



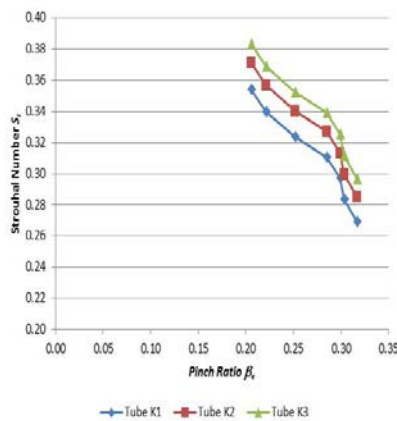
Grafik 2. Karakteristik Getaran dengan Variasi Kecepatan Aliran dan Konstanta Elastis Tube ($K_1 = 1723,6 \text{ N/m}$, $K_2 = 1981,5 \text{ N/m}$, $K_3 = 2178,5 \text{ N/m}$)



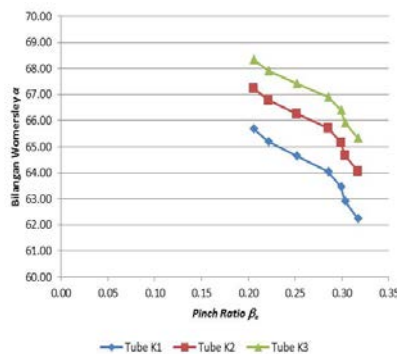
Grafik 3. Karakteristik Frekwensi dan Amplitudo Getaran dengan Variasi Konstanta Elastis Tube Pada Kecepatan Aliran Tertentu ($V_1 = 5,41$ m/dtk, $V_2 = 5,10$ m/dtk, $V_3 = 4,70$ m/dtk)

Tabel 3. Karakteristik Strouhal Number (S_t), Bilangan Womersley (α), dan Parameter Kecepatan (S) dengan Variasi Konstanta Elastis Tube

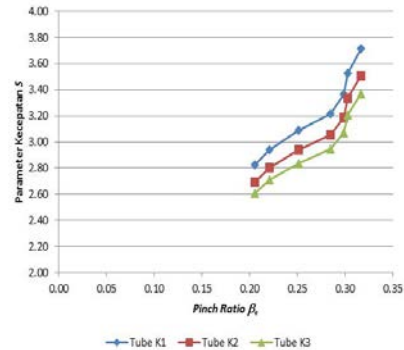
β_e	U (m/dtk)	S_t			α			S		
		Tube K ₁	Tube K ₂	Tube K ₃	Tube K ₁	Tube K ₂	Tube K ₃	Tube K ₁	Tube K ₂	Tube K ₃
0.32	5.41	0.27	0.29	0.30	62.26	64.07	65.35	3.71	3.51	3.37
0.30	5.25	0.28	0.30	0.31	62.91	64.67	65.92	3.52	3.33	3.21
0.30	5.10	0.30	0.31	0.33	63.48	65.19	66.41	3.36	3.19	3.07
0.28	4.97	0.31	0.33	0.34	64.05	65.72	66.91	3.22	3.06	2.95
0.25	4.85	0.32	0.34	0.35	64.65	66.27	67.44	3.09	2.94	2.84
0.22	4.70	0.34	0.36	0.37	65.21	66.79	67.93	2.94	2.80	2.71
0.21	4.58	0.35	0.37	0.38	65.69	67.24	68.36	2.82	2.69	2.61



Grafik 4. Karakteristik Strouhal Number (S_t) dengan Variasi Konstanta Elastis Tube



Grafik 5. Karakteristik Bilangan Womersley (α) dengan Variasi Konstanta Elastis Tube



Grafik 6. Karakteristik Parameter Kecepatan (S) dengan Variasi Konstanta Elastis Tube

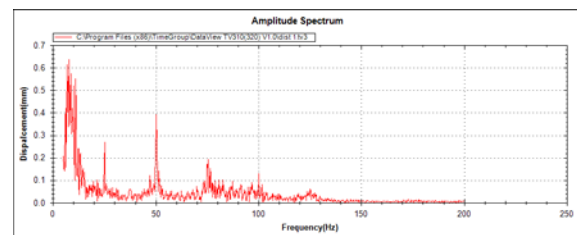
Analisis FFT (Fast Fourier Transform)

Untuk analisis FFT karakteristik getaran hasil pengujian menggunakan software DataView TV310(320) V1.0 terdapat 3 mode pengukuran getaran yaitu :

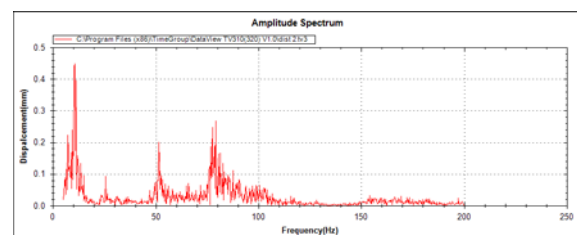
1. Mode *displacement*
2. Mode *velocity*
3. Mode *acceleration*

Berikut hasil analisis FFT karakteristik getaran menggunakan software DataView TV310(320) V1.0 untuk masing-masing mode.

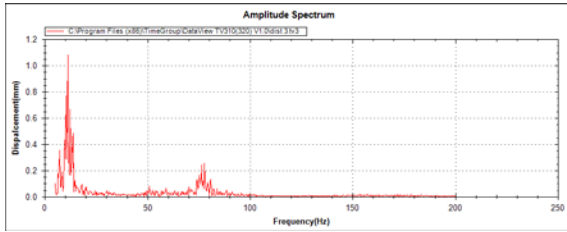
Mode displacement



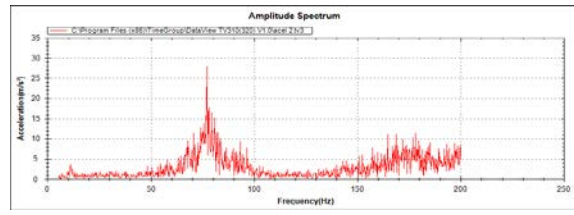
a. Displacement-1



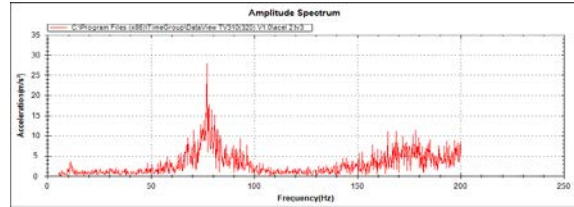
b. Displacement-2



c. Displacement-3



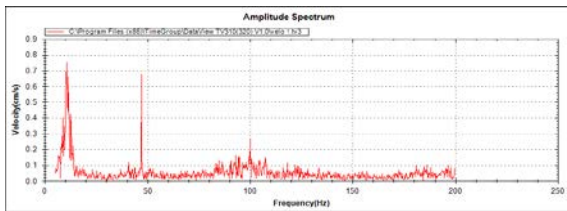
b. Acceleration-2



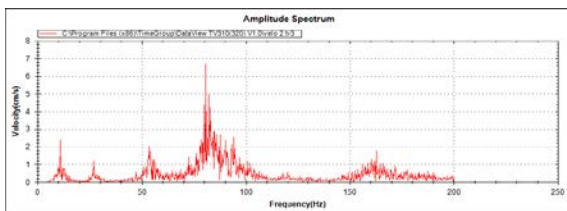
c. Acceleration-2

Gambar 5. Analisis FFT DataView TV310(320) V1.0 Mode Displacement

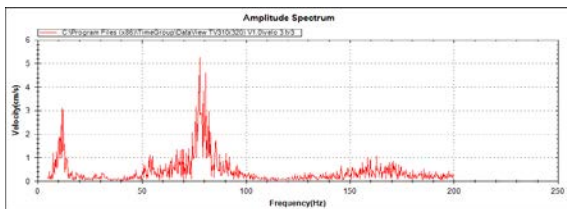
Mode velocity



a. Velocity-1



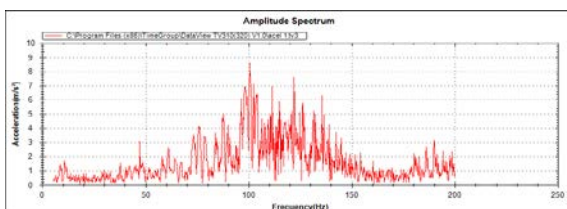
b. Velocity-2



c. Velocity-3

Gambar 6. Analisis FFT DataView TV310(320) V1.0 Mode Velocity

Mode acceleratin



a. Acceleration-1

Gambar 7. Analisis FFT DataView TV310(320) V1.0 Mode Acceleration

Pembahasan

Hubungan antara frekwensi dan amplitudo pada sebuah getaran adalah sebuah mekanisme pertukaran energi dari energi potensial menjadi energi kinetik atau sebaliknya. Pada saat energi sistem sepenuhnya dikonversi menjadi energi potensial maka sistem getaran akan mempunyai amplitudo. Dan sebaliknya jika energi sistem dikonversi sepenuhnya menjadi energi kinetik maka sistem getaran akan menghasilkan frekwensi. Fluida yang mengalir dalam sebuah pipa fleksibel (selang) merupakan sebuah sistem yang memiliki energi yaitu energi potensial berupa tekanan fluida dan energi kinetik dalam bentuk kecepatan aliran fluida. Setiap perubahan karakteristik aliran fluida dalam selang tentunya akan terjadi pertukaran energi tekanan menjadi energi kecepatan maupun sebaliknya.

Perubahan konstanta elastis selang (K) akan mempengaruhi nilai konstanta kekakuan sistem yang merupakan gabungan dari konstanta elastis selang (K), tekanan fluida (P), dan kecepatan aliran (V). Berdasarkan data pengujian tabel 1 peningkatan konstanta elastis selang (K) akan meningkatkan nilai kekakuan sistem dan frekwensi model yang dihasilkan. Rentang frekwensi model untuk K_1 (1723,6 N/m) adalah 11,61 Hz – 12,93 Hz, untuk K_2 (1981,5 N/m) adalah 12,30 Hz – 13,54 Hz, dan untuk K_3 (2178,5 N/m) adalah sebesar 12,79 Hz – 14,00 Hz. Karakteristik aliran dapat dilihat pada perubahan tekanan dan kecepatan aliran fluida yang merupakan bentuk

pertukaran energi yang terjadi dalam aliran akibat perubahan karakteristik aliran.

Analisis FFT karakteristik getaran hasil pengujian menggunakan software DataView TV310(320) V1.0 pada mode *displacement* (gambar 5) menghasilkan spektrum frekwensi 10 Hz dengan amplitudo antara 0,4 – 1,1 mm. Pada mode *velocity* (gambar 6) diperoleh 2 nilai spektrum frekwensi yaitu 10 Hz dengan kecepatan 3 cm/s dan 80 Hz dengan kecepatan 6,5 cm/s. Mode *acceleration* (gambar 7) menghasilkan spektrum frekwensi 75 Hz dengan percepatan 27,5 m/s².

Tahap selanjutnya yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian dengan variasi kekakuan selang terhadap karakteristik getaran yang dihasilkan aliran fluida yang mengalami *self excited vibrations*. Pada grafik 2 perubahan kecepatan aliran fluida tidak terlalu berpengaruh pada perubahan frekwensi getaran yang dihasilkan. Frekwensi getaran yang dihasilkan relatif tetap karena pada saat *self excited vibrations* terjadi faktor utama yang paling berperan adalah *pinch ratio* dan konstanta elastis selang/*tube* (K). Konstanta elastis selang yang lebih besar mempengaruhi frekwensi getaran yang dihasilkan, dimana frekwensi getaran pada selang dengan konstanta elastis K_3 lebih tinggi dari frekwensi pada K_2 dan frekwensi pada K_1 . Pada selang dengan konstanta elastis $K_3 = 2178,5$ N/m menghasilkan frekwensi pada rentang 8,17 Hz – 10 Hz, konstanta elastis $K_2 = 1981,5$ N/m menghasilkan frekwensi 6,17 Hz – 6,83 Hz, dan konstanta elastis $K_1 = 1723,6$ N/m menghasilkan frekwensi 5,83 Hz – 6,17 Hz.

Sedangkan amplitudo getaran akan menurun dengan berkurangnya kecepatan aliran (grafik 3), karena tekanan fluida yang mengalir dalam selang juga akan menurun. Penurunan tekanan fluida berpengaruh terhadap amplitudo getaran yang juga menurun karena gaya tekanan hidrostatis fluida yang menyebabkan dinding selang berosilasi menjadi berkurang. Pada saat kecepatan aliran $V_1 = 5,41$ m/dtk menghasilkan amplitudo getaran pada rentang 0,70 mm – 1,95 mm, saat kecepatan aliran $V_2 = 5,10$ m/dtk menghasilkan amplitudo getaran pada rentang 0,86 mm – 1,09 mm, dan saat kecepatan aliran $V_3 = 4,70$ m/dtk menghasilkan amplitudo getaran pada rentang 0,30 mm – 0,79 mm.

Pengaruh perubahan konstanta elastis selang dalam kasus aliran yang mengalami *self*

excited vibrations juga dapat dinyatakan dengan parameter indeks kecepatan (S) yang menyatakan rasio inersia fluida dengan kekakuan bending dari selang, dimana peningkatan kekakuan akan menurunkan indeks kecepatan yang dapat mengurangi osilasi (Hazel and Heil, 2003). Pada grafik 6 menunjukkan bahwa indeks kecepatan menurun dengan peningkatan konstanta elastis selang. Indeks kecepatan yang dihasilkan pada selang dengan konstanta $K_3 = 2178,5$ N/m menghasilkan rentang 2,61 – 3,37, konstanta elastis $K_2 = 1981,5$ N/m menghasilkan rentang 2,69 – 3,51, dan konstanta elastis $K_1 = 1723,6$ N/m menghasilkan rentang 2,82 – 3,71. Selain itu grafik tersebut juga menunjukkan bahwa semakin turun nilai *pinch ratio* (β_e) maka indeks kecepatannya juga menurun karena kekakuan sistem akan meningkat akibat meningkatnya tekanan fluida saat kondisi selang semakin mengalami penjepitan.

Parameter lain yang menunjukkan pengaruh konstanta elastis selang adalah bilangan Womersley (α) dan angka Strouhal (S_r). Seperti halnya penelitian yang dilakukan oleh Heil and Waters (2006) tentang analisa selang berisi fluida dengan konstanta elastis dinding yang menunjukkan osilasi frekwensi tinggi amplitudo kecil. Hasil yang diperoleh adalah parameter bilangan Womersley (α) dan angka Strouhal (S_r) meningkat dengan bertambahnya konstanta elastis selang dan kekakuan sistem. Pada grafik 4 menunjukkan selang dengan konstanta $K_3 = 2178,5$ N/m menghasilkan rentang angka Strouhal 0,30 – 0,38, konstanta elastis $K_2 = 1981,5$ N/m menghasilkan angka Strouhal 0,29 – 0,37, dan konstanta elastis $K_1 = 1723,6$ N/m menghasilkan angka Strouhal 0,27 – 0,35. Pada grafik 5 menunjukkan selang dengan konstanta $K_3 = 2178,5$ N/m menghasilkan rentang bilangan Womersley 65,35 – 68,38, konstanta elastis $K_2 = 1981,5$ N/m menghasilkan bilangan Womersley 64,07 – 67,24, dan konstanta elastis $K_1 = 1723,6$ N/m menghasilkan bilangan Womersley 62,26 – 65,69.

SIMPULAN

Karakteristik *self excited vibrations* hanya dapat diamati pada kondisi tertentu yang menghasilkan kondisi kritis pada nilai rasio jepitan (*pinch ratio*) tertentu. Perubahan konstanta elastis selang (K) yang lebih besar menghasilkan frekwensi getaran yang lebih

tinggi. Sedangkan amplitudo getaran akan menurun dengan berkurangnya kecepatan aliran fluida yang mengalir dalam selang.

Pengaruh perubahan konstanta elastis selang dalam kasus aliran yang mengalami *self excited vibrations* dapat dinyatakan dengan parameter indeks kecepatan (S), dimana peningkatan konstanta elastis selang akan menurunkan indeks kecepatan yang dapat mengurangi osilasi. Selain itu penurunan nilai *pinch ratio* (β_e) menyebabkan indeks kecepatannya juga menurun karena kekakuan sistem akan meningkat akibat meningkatnya tekanan fluida saat kondisi selang semakin mengalami penjepitan.

Parameter lain yang menunjukkan pengaruh konstanta elastis selang adalah bilangan Womersley (α) dan angka Strouhal (S_r). Hasil yang diperoleh adalah parameter bilangan Womersley (α) dan angka Strouhal (S_r) meningkat dengan bertambahnya konstanta elastis selang dan kekakuan sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Anssari, A., 2008. *A New System to Analyze Pulsatile Flow Characteristics in Elastic Tubes for Hemodynamic Applications*, American Journal of Applied Sciences 5 (12): 1730-1736, ISSN 1546-9239, © 2008 Science Publications
- Chen, S.S., and G.S. Rosenberg, 1973. *Vibration And Stability Of A Tube Conveying Fluid*, Argonne National Laboratories ANL-7762, Int Ref. N71 – 34631
- 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
- Housner, 1954. *Bending Vibrations Of A Pipeline Containing Flowing Fluid*, J. Appl Meh 1954.74.205. Int Ref. HPO 469
- Huang, R. F., J. M. Chen And C. M. Hsu, 2006. *Modulation Of Surface Flow And Vortex Shedding Of A Circular Cylinder In The Subcritical Regime By A Self-excited Vibrating Rod*, Department of Mechanical Engineering, National Taiwan University of Science and Technology, Taipei, Taiwan 10672
- Mittal, S., And Saurav Singh, 2005. *Vortex-Induced Vibrations At Subcritical Re*, Department of Aerospace Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur, UP 208 016, India
- Munson, Bruce R., 2003, *Fundamentals of Fluid Mechanics*, 4th edn, John Wiley & Sons Inc., New York
- Naguleswaran, S., & C.J.H. Williams, 1968. *Lateral Vibrations Of A Tube Containing A Fluid*, J Mech Eng. Eng Sci 10 (3) 228-238 1968 Int Ref., 472
- Olesen, H. P., *Detection Of Pressure Variations In Thin Walled Tubes By Vibration Measurements*, www.bksv.com/doc/13-069.pdf
- 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 Vibrations**, Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang
- Sufiyanto, 2010, **Karakteristik Self Excited Vibrations Pada Aliran Fluida Dalam Pipa Fleksibel**, Jurnal Transmisi Vol-VI Edisi-1/ Hal. 557 – 566, ISSN : 0216-3233, Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang
- Sufiyanto, dkk., 2014, **Simulasi Model Karakteristik Self Excited Vibrations Dalam Aliran Fluida Dengan ANSYS**, Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) 2014 ISSN: 1979-911X, Yogyakarta, 15 November 2014

Thompson, W., M. Dahleh, 1998. *Theory of Vibration with Applications*, 5th edn, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ

Walker, Rocky, 2007, *Fluid Power Handbook & Directory*, Nevada, <http://www.hydraulicspneumatics.com>, December 2008.

Wardana, I.N.G., 2000. **Getaran Pipa Akibat Aliran Fluida**, Proc. Piping Technology Seminar 2000, p. 213-221.