

Simulasi Model Karakteristik *Self Excited Vibrations* dalam Aliran Fluida dengan ANSYS

Sufiyanto¹, Rudi Hariyanto², Darto³,

¹ Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang, otnayifus@yahoo.co.id

² Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang, ui_masrudi@yahoo.com

³ Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang, darto_unmer@yahoo.com

ABSTRAKS

Aliran fluida yang memiliki kecepatan dan tekanan serta perubahan keduanya yang terjadi dalam suatu aliran fluida memberikan kontribusi terjadinya getaran dalam sistem perpipaan. Getaran yang muncul dapat menimbulkan pembengkokan pada sistem perpipaan dan pada kasus yang ekstrim dapat mengakibatkan keretakan dan terjadinya kegagalan fatik pada sistem perpipaan tersebut. Di samping itu fluktuasi aliran dapat meningkatkan terjadinya kerugian energi yang diakibatkan oleh bertambahnya losses dalam aliran. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh aspek-aspek dan karakteristik dalam aliran fluida yang dapat mengakibatkan terjadinya getaran yang dibangkitkan sendiri oleh sistem (*self excited vibrations*) dan pengaruh variasi konstanta elastis pegas (K) dari selang (*tube*). Peningkatan kekakuan pada sistem perpipaan dengan memperbesar konstanta elastis pegas dari *tube* yang digunakan untuk meningkatkan stabilitas sistem sehingga mampu mengurangi dampak kerugian akibat munculnya getaran. Metode yang digunakan adalah simulasi model dengan menggunakan bantuan software ANSYS untuk menganalisis karakteristik aliran fluida pada saat melewati daerah jepitan (*pinch area*). Karakteristik aliran yang dihasilkan berupa perubahan tekanan dan kecepatan aliran fluida pada daerah sebelum dan sesudah jepitan serta daerah tepat di bawah daerah jepitan. Selanjutnya karakteristik aliran tersebut digunakan untuk melakukan analisis karakteristik getaran menggunakan model matematis. Hasil yang diperoleh dari simulasi model menunjukkan bahwa karakteristik aliran fluida saat melewati daerah jepitan terjadinya konversi energi potensial berupa tekanan menjadi energi kinetik berupa kecepatan aliran ataupun sebaliknya..

Kata kunci: Karakteristik Aliran, Konstanta Elastis, Stabilitas Sistem, Simulasi Model ANSYS

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 mengkombinasikan 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 memengaruhi sistem tersebut (Pejack, 2006).

Dalam sistem fluida yang mengalir memiliki karakteristik kecepatan, tekanan dan perubahan kedua karakteristik yang terjadi pada suatu aliran fluida dapat memberikan kontribusi terjadinya getaran, aliran tumbukan maupun tekanan balik yang umum terjadi dalam pengoperasian mesin-mesin hidrolik. **Permasalahan yang muncul** pada aliran fluida dengan adanya faktor aliran tumbukan, tekanan balik dan getaran dapat mengakibatkan pembengkokan pada sistem perpipaan. Pada kasus yang ekstrim dapat mengakibatkan keretakan dan kegagalan fatig pada sistem perpipaan. Pompa dan katup merupakan penyebab terbesar terjadinya getaran dan aliran tumbukan akibat

perubahan drastis tekanan dan kecepatan yang terjadi pada komponen tersebut (Walker, 2007).

Getaran yang muncul dalam sistem perpipaan merupakan hal yang tak dapat dihindarkan. Untuk menjamin keamanan pada sistem, getaran yang dapat diterima oleh sistem perpipaan dapat ditentukan dengan adanya batas maksimum tegangan akibat getaran dalam pipa tersebut. Selain itu untuk mengurangi getaran yang terjadi dapat juga dilakukan dengan cara meningkatkan stabilitas dari instalasi sistem perpipaan. Peningkatan stabilitas dapat dilakukan dengan meningkatkan kekakuan (*stiffness*) sistem melalui pengaturan tumpuan (klem) pada pipa atau dengan pemilihan material pipa dengan konstanta elastis pegas yang lebih besar.

Ditinjau dari kegagalan akibat terjadinya kelelahan (*fatigue*), tegangan dinamik yang ditimbulkan tidak boleh melebihi batas izin yang ditentukan dari tegangan bolak-balik (*alternating stress*) berdasarkan jumlah siklus yang diberikan. Untuk itu perlu pengamatan getaran yang dilakukan dengan cara melakukan pengukuran terhadap frekuensi dan amplitudo getaran sehingga dapat dilakukan analisis terhadap tegangan dinamik yang terjadi.

Dalam penelitian ini fenomena terjadinya *self excited vibration* ditimbulkan oleh adanya perubahan luasan penampang aliran akibat adanya jepitan. Perubahan penampang aliran akan memengaruhi karakteristik kecepatan dan tekanan aliran fluida tersebut. Pada suatu nilai tertentu, akan timbul osilasi yang kemudian

berkembang menjadi amplitudo yang lebih besar akibat kondisi yang tak stabil dalam aliran saat melewati daerah jepitan.

Rumusan masalah berdasarkan uraian latar belakang dalam penelitian ini adalah untuk memperoleh aspek-aspek dan karakteristik dalam aliran fluida yang dapat mengakibatkan terjadinya *self excited vibrations*. Sedangkan tinjauan secara struktur mekanik dilakukan penelitian dengan variasi konstanta elastis pegas (K) dari *tube* pada aliran fluida yang mengalami *self excited vibrations*.

Penelitian sebelumnya yang membahas getaran yang terjadi pada dinding *tube* salah satunya dilakukan oleh Housner (1954). Pada penelitian tersebut getaran dapat ditimbulkan dengan sejumlah cara dan jika resonansi pada sistem dilibatkan dapat menghasilkan dampak yang signifikan pada karakteristik getarannya. Dalam penelitian ini Housner melakukan penyelidikan untuk mengetahui efek kecepatan angin yang tinggi pada sistem perpipaan pada instalasi pengeboran minyak yang melintas sepanjang gurun pasir. Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah apabila frekuensi sistem dari instalasi pipa berimpit dengan frekuensi getaran paksa yang ditimbulkan oleh kecepatan aliran fluida dalam pipa maka akan terjadi efek resonansi berupa penguatan getaran yang dapat menjadi faktor yang signifikan penyebab pipa mengalami tekuk (*bending*).

Naguleswaran dan Williams (1968) melakukan penelitian pada masalah getaran yang lebih spesifik pada dinding *tube*, baik secara teoritis maupun eksperimental. Pada saat kecepatan fluida sangat cepat mengalir di dalam pipa maka dapat ditemukan fenomena getaran pada pipa logam yang signifikan. Penelitian tersebut juga dikembangkan pada kasus variasi tekanan fluida dalam *tube* tanpa kecepatan aliran fluida. Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah pada sebuah aliran fluida di dalam pipa logam bukan merupakan faktor yang signifikan penyebab pipa tersebut bergetar dan tertekuk, kecuali pada kecepatan aliran yang sangat tinggi.

Fenomena *self excited vibrations* telah dijelaskan oleh Pejack (2006) dalam tulisannya menyatakan bahwa di dalam sistem getaran yang dibangkitkan sendiri terjadi suatu pertukaran antara energi gerak dan energi yang tersimpan (seperti gaya potensial yang elastis atau gravitasi). 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.

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. Sedangkan pengaruh elastisitas *tube* dinyatakan dengan parameter indeks kecepatan yang menyatakan rasio inersia fluida dengan kekakuan *bending* dari *tube*, di mana peningkatan kekakuan akan menurunkan indeks kecepatan yang dapat mengurangi osilasi dinding *tube*.

Penelitian lain yang menganalisis 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 frekuensi tinggi amplitudo kecil. Gangguan kecepatan yang dibangkitkan oleh gerakan dinding didominasi oleh komponen transversal dan menggunakan simulasi numeris untuk menganalisis aliran dua dimensi yang berkembang dalam penampang *tube*. Dalam kasus interaksi fluida dan struktur, osilasi gabungan dikontrol dengan rasio kerapatan fluida dan dinding, dan dengan parameter material yang mana ekuivalen dengan bilangan Womersley, dan menunjukkan pentingnya gaya inersia fluida dan elastisitas dinding relatif terhadap kekentalan fluida. Bilangan Womersley yang besar berhubungan dengan kasus kekakuan dinding dan densitas fluida yang besar. Nilai kekakuan dinding K yang lebih besar dibandingkan tekanan yang diakibatkan inersia fluida ditunjukkan dengan bilangan Strouhal yang besar.

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 memengaruhi 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 di bawah ini.

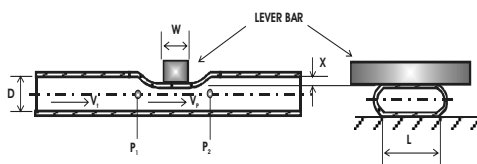
Variabel-variabel yang digunakan dalam persamaan model matematis adalah sebagai berikut:

- 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_1 : 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
- α : rasio luas A_p/A_t
- ρ : densitas fluida
- β : x/D

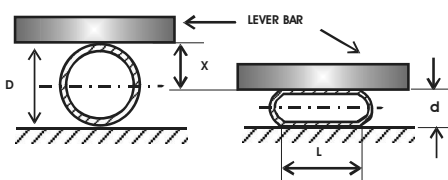
Dengan menggunakan persamaan diferensial gerakan dari hukum Newton kedua diperoleh persamaan sbb:

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

Kriteria *self excited vibrations* terjadi pada kondisi di mana energi kecepatan lebih besar dibandingkan dengan



Gambar 1. Model Matematis



Gambar 2. Deformasi Penampang di Daerah Jepitan (*Pinch*)

energi potensial yang berupa tekanan dan konstanta elastis *tube* seperti ditunjukkan pada persamaan berikut:

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

Interaksi Struktur-Fluida

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

Bilangan Womersley:

$$\alpha = \left(\frac{a}{\mu} \right)^{1/2} (K \cdot \rho)^{1/4} \dots\dots\dots (3)$$

- dengan: a = radius *tube*
- μ = viskositas fluida
- K = elastisitas pegas (K) dari *tube*
- ρ = densitas fluida

Bilangan Strouhal:

$$S_t = \frac{I}{U} \left(\frac{K}{\rho} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (4)$$

dengan U = kecepatan aliran fluida

Periode osilasi dinding dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$T = a \sqrt{\frac{\rho}{K}} \dots\dots\dots (5)$$

Selain itu hubungan antara inersia fluida dan konstanta elastis (K) *tube* dinyatakan dengan parameter kecepatan (S) yang ditentukan dengan persamaan berikut: (Hazel dan Heil, 2003).

$$S^2 = \frac{\rho \cdot U^2}{K} \left[\frac{I}{\alpha^3} \left(\frac{\partial \zeta}{\partial \alpha} \right)^{-1} \right] \dots\dots\dots (6)$$

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang akan digunakan adalah dengan metode analisis simulasi dengan menggunakan bantuan *software* ANSYS untuk menganalisis 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 di bawah 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:

K = konstanta elastis *tube* (N/m)

Q = kapasitas aliran fluida (liter/menit) yang dilakukan dengan mengatur bukaan katup.

α = rasio jepitan pada *tube* yang dilakukan dengan mengatur besarnya pembebanan

• Variabel terikat:

A = amplitudo osilasi getaran (mm)

F = frekuensi getaran

Alat yang Digunakan

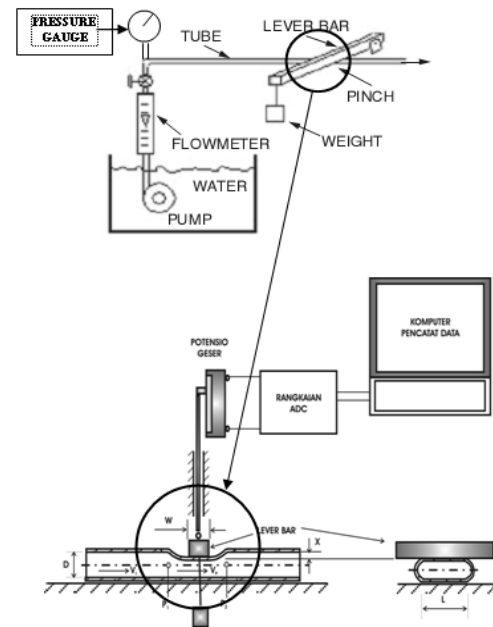
Adapun peralatan uji yang digunakan seperti pada gambar 3 yang terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut:

1. Pompa air (*water pump*)
2. Pengukur aliran (*flow meter*)
3. Pengukur tekanan (*pressure gauge*)
4. Alat pencatat getaran (ADC & Program)
5. *Dial indikator*
6. Jangka sorong

Skema Pengujian

Cara kerja dari alat tersebut diatas (gambar 3) adalah sebagai berikut:

1. menghidupkan pompa untuk mengalirkan fluida melewati *tube*.
2. mengatur kecepatan aliran dengan mengatur katup bukaan.
3. mengukur tekanan yang dihasilkan oleh aliran fluida dengan *pressure gauge*.
4. memberikan beban pada *lever bar* untuk mengatur besarnya *pinch ratio* yang diukur menggunakan *dial indikator*.
5. getaran *lever bar* akan mendorong batang penghubung yang menekan diafragma speaker sehingga menghasilkan perubahan hambatan yang terdeteksi pada avometer.
6. untuk merekam fluktuasi getaran yang terjadi dihubungkan dengan perangkat ADC yang akan mengirimkan sinyal yang nantinya dapat dilihat dan terekam dalam komputer.
7. data yang tersimpan dalam komputer kemudian diolah untuk memperoleh frekuensi dan amplitudo getaran yang dihasilkan sehingga diperoleh persamaan getaran.
8. langkah 1 s/d 7 di ulang untuk konstanta elastis *tube* yang berbeda.



Gambar 3. Skema Alat Uji

Analisa Data Eksperimental

Data yang diperoleh meliputi kondisi aliran yang menyebabkan terjadinya *self excited vibrations* yang dipengaruhi oleh kapasitas aliran dan besarnya *pinch ratio*. Pada saat stabilitas aliran terganggu, akan dihasilkan suatu getaran yang ditunjukkan dari data rekaman alat pencatat getaran. Dari data tersebut dapat diperoleh frekuensi dan amplitudo getaran yang dihasilkan untuk menentukan persamaan getaran sehingga dapat diperoleh karakteristik getaran.

Semakin besar frekuensi dan amplitudo getaran menunjukkan bahwa stabilitas aliran menurun yang disebabkan oleh peningkatan kecepatan aliran di daerah jepitan dan *pinch ratio*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Pengujian

Berdasarkan data pada tabel 3 digunakan sebagai data untuk penggambaran geometri model yang akan dianalisis 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.

Hasil simulasi ANSYS dapat dilihat pada gambar berikut:

PEMBAHASAN

Tekanan awal fluida di dalam *tube* tanpa adanya beban penjepit sebesar 6 psi ($4,1 \cdot 10^4$ Pa) ditunjukkan pada pembacaan manometer yang terpasang pada sisi *inlet*.

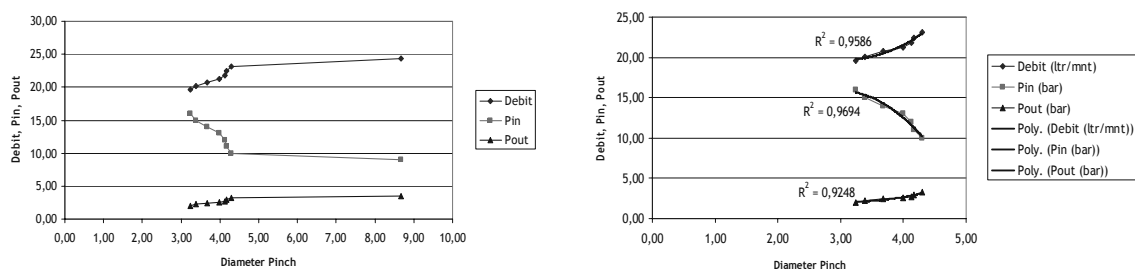
Tabel 1. Pengujian Data Aliran Dengan Variasi Jarak *Pinch* Pada *Tube*

Pengujian 1						Pengujian 2					
no	d _{out} <i>pinch</i>	Pressure		Debit		no	d _{out} <i>pinch</i>	Pressure		Debit	
		P _{in} (Psi)	P _{out} (Psi)	ltr/dtk	ltr/mnt			P _{in} (Psi)	P _{out} (Psi)	ltr/dtk	ltr/mnt
1	8.70	9	3.5	0.41	24.39	1	8.60	9	3.5	0.41	24.39
2	4.48	10	3.5	0.39	23.19	2	4.20	10	3.1	0.39	23.19
3	4.20	11	3.1	0.38	22.59	3	4.12	11	2.9	0.38	22.59
4	4.10	12	2.8	0.37	22.00	4	4.13	12	2.6	0.37	22.00
5	4.02	13	2.6	0.36	21.40	5	4.01	13	2.5	0.35	21.16
6	3.80	14	2.5	0.35	20.80	6	3.72	14	2.4	0.35	20.80
7	3.35	15	2.4	0.34	20.20	7	3.38	15	2.3	0.33	19.96
8	3.24	16	2.2	0.33	19.60	8	3.31	16	1.9	0.33	19.60

Pengujian 3					
no	d _{out} <i>pinch</i>	Pressure		Debit	
		P _{in} (Psi)	P _{out} (Psi)	ltr/dtk	ltr/mnt
1	8.70	9	3.5	0.41	24.39
2	4.20	10	3.1	0.38	23.07
3	4.18	11	2.8	0.37	22.12
4	4.15	12	2.7	0.36	21.40
5	3.95	13	2.6	0.35	21.16
6	3.51	14	2.4	0.34	20.68
7	3.42	15	2	0.34	20.20
8	3.16	16	1.8	0.33	19.60

Tabel 2. Pengolahan Data Pengujian

no	Diameter <i>Pinch</i> (mm)				Debit (ltr/mnt)				P _{in} (Psi)	P _{out} (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 4. Karakteristik Aliran Antara Diameter *Pinch* dan Debit.

Tabel 3. Perhitungan Kecepatan Aliran Fluida Dalam Tube

Keliling Lingkaran Penuh		29,94	mm			
Luas Penampang Lingkaran		71,28	mm ²			
d _{out} pinch	d _{in} pinch	l	L _{area} (mm ²)	Q (l/mnt)	Q (l/s)	Q (mm ³ /s)
8,67	7,39	3,36	67,69	24,39	0,41	406504,07
4,29	3,01	10,23	37,97	23,15	0,39	385880,96
4,17	2,89	10,43	36,66	22,43	0,37	373906,25
4,13	2,85	10,49	36,24	21,80	0,36	363262,06
3,99	2,71	10,70	34,83	21,24	0,35	353948,40
3,68	2,40	11,20	31,36	20,76	0,35	345965,26
3,38	2,10	11,66	28,01	20,12	0,34	335321,08
3,24	1,96	11,89	26,28	19,60	0,33	326672,68

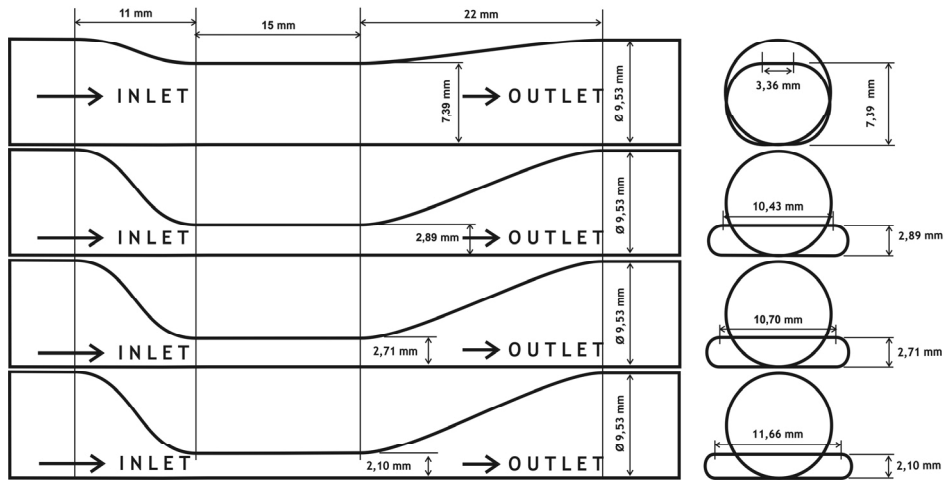
Luas Penampang Selang		71,28	mm ²
Q		V _{aliran}	
(l/s)	(mm ³ /s)	(mm/s)	(m/s)
0,41	406504,07	5702,57	5,70
0,39	385880,96	5413,26	5,41
0,37	373906,25	5245,27	5,25
0,36	363262,06	5095,95	5,10
0,35	353948,40	4965,30	4,97
0,35	345965,26	4853,31	4,85
0,34	335321,08	4703,99	4,70
0,33	326672,68	4582,67	4,58

Tabel 5.4. Karakteristik & *Material Properties* Bahan Tube

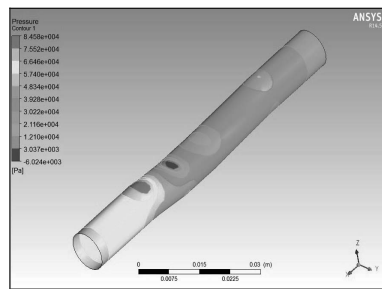
PART NO.	ID (IN.)	OD (IN.)	WALL (IN.)	STANDARD LENGTH (FT.)	WORKING PSI AT 70°F	BURST PSI AT 70°F	LBS. PER 100 FT.
448 0070	1/8	1/4	1/16	100	272	816	1.5
448 0147	.170	1/4	.040	100	149	447	1.0
448 0224	3/16	5/16	1/16	100	196	588	1.9
448 0301	1/4	3/8	1/16	100	157	471	2.4
448 0378	3/8	1/2	1/16	100	112	336	3.4
448 0455	1/2	5/8	1/16	100	87	261	4.4
448 0609	5/8	3/4	1/16	100	71	213	5.3
448 0651	3/4	1	1/8	50	109	327	13.1
448 0840	1	1-1/4	1/8	50	87	261	17.5

Physical Properties**

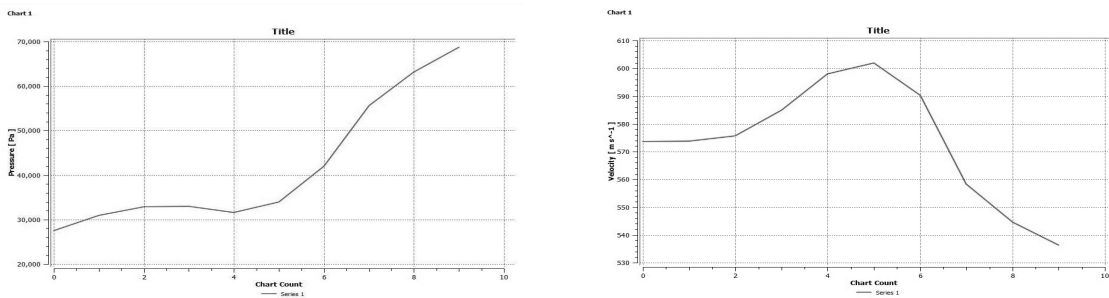
Hardness, Rockwell R	75
Tensile Strength, psi	4000
Elongation at Yield, %	23
Deflection Temperature, °F, @ 66 psi	173
Notched Izod, foot pound/inch, @ 73°F	10
Flexural Modulus, psi	1.6 x 10 ⁵
Max. Operating Temp., °F	125



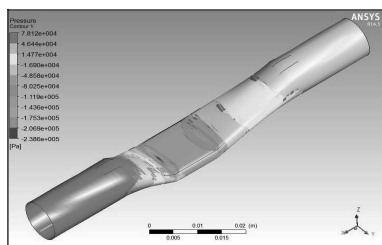
Gambar 5. Model Geometri Simulasi ANSYS.



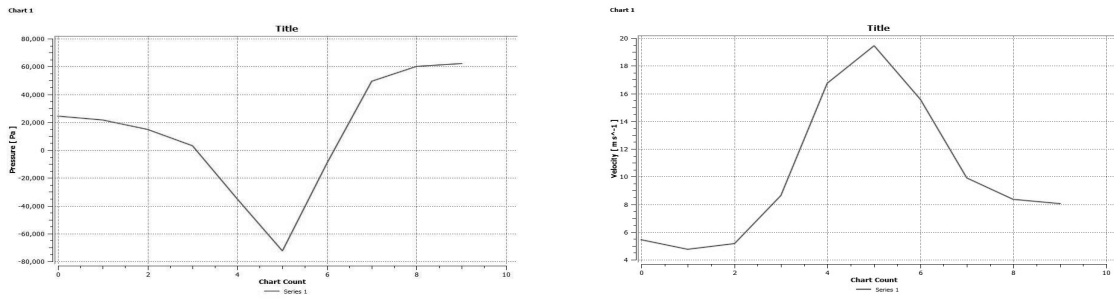
Gambar 6. Simulasi Model Geometri-1



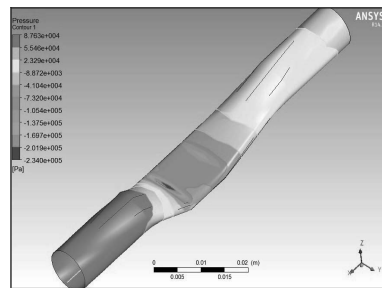
Gambar 7. Karakteristik Aliran Fluida Model Geometri-1



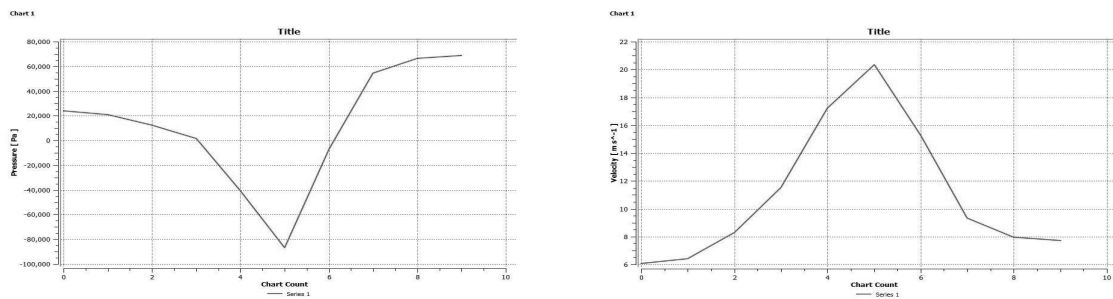
Gambar 8. Simulasi Model Geometri-2



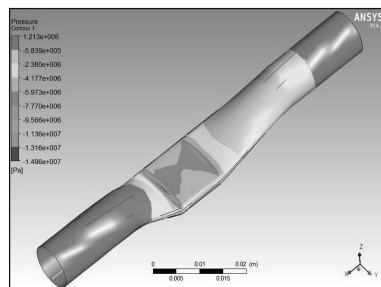
Gambar 9. Karakteristik Aliran Fluida Model Geometri-2



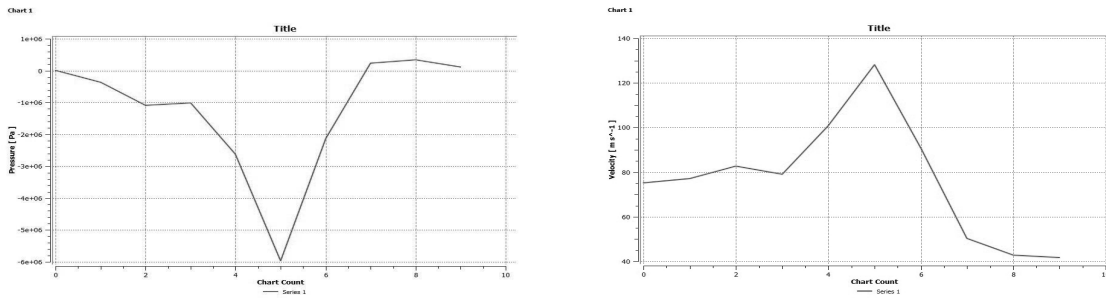
Gambar 10. Simulasi Model Geometri-3.



Gambar 11. Karakteristik Aliran Fluida Model Geometri-3



Gambar 12. Simulasi Model Geometri-4.



Gambar 13. Karakteristik Aliran Fluida Model Geometri-4.

Pada model geometri-1 dengan $d_{out\ pinch} = 8,67$ mm menunjukkan peningkatan tekanan pada *inlet* menjadi 9 psi ($6,2 \cdot 10^4$ Pa). Hal ini terjadi karena dengan perubahan penampang diameter *pinch* yang mengecil maka tekanan fluida akan meningkat. Pada gambar 6 hasil simulasi model geometri-1 terjadi tekanan tertinggi pada daerah tekuk memasuki daerah *pinch* $8,46 \cdot 10^4$ Pa dan setelah itu justru terjadi penurunan tekanan (*pressure drop*) sampai $-6 \cdot 10^3$ Pa. Tetapi daerah dengan penurunan tekanan tersebut hanya terjadi pada daerah yang kecil sedangkan sebagian besar masih mempunyai tekanan rata-rata $\pm 3 \cdot 10^4$ Pa di mana sedikit lebih kecil dari tekanan awal.

Penurunan tekanan fluida di dalam *tube* justru akan meningkatkan kecepatan aliran fluida. Hal ini sesuai dengan konsep kontinuitas aliran Hukum Bernoulli, di mana 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 7, 9, 11, 13 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 masuk (*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*.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi model geometri dengan menggunakan ANSYS dapat disimpulkan bahwa perbedaan tekanan aliran fluida antara *inlet* dan *outlet* akan semakin kecil apabila *pinch ratio* yang diberikan semakin besar. Sedangkan karakteristik yang ditunjukkan di daerah *pinch* adalah tekanan yang terjadi akan semakin rendah apabila *pinch ratio* diperbesar. Kondisi sebaliknya terjadi yaitu kecepatan aliran semakin tinggi apabila *pinch ratio* diperbesar. Hal ini menunjukkan adanya konversi energi dari energi tekanan menjadi energi kecepatan pada aliran fluida.

REFERENSI

1. 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.
2. Chen SS and GS. Rosenberg, 1973. *Vibration and Stability of a Tube Conveying Fluid*, Argonne National Laboratories ANL-7762, Int Ref. N71-34631.
3. 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.
4. 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.
5. Housner, 1954. *Bending Vibrations of a Pipeline Containing Flowing Fluid*, J. Appl Meh 1954.74.205. Int Ref. HPO 469.
6. Huang RF, JM. Chen, and CM. 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.
7. 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.
8. Munson, Bruce R, 2003. *Fundamentals of Fluid Mechanics*, 4th edn, John Wiley & Sons Inc., New York.
9. Naguleswaran S & C.J.H. Williams, 1968. *Lateral Vibrations of a Tube Containing a Fluid*, J Mech Eng. Eng Sci 10 (3) 228–38 1968 Int Ref., 472.

10. Pejack ER, 2006. *Apparatus for Demonstrating Self-excited Vibrations in Fluid Flow*, Department of Mechanical Engineering, University of the Pacific, Stockton, California 95211, USA.
11. Prolite, 2008. *Polypropylene Tubing*, © NewAge Industries, Inc. <http://www.newageindustries.com>, May 2009.
12. Sufiyanto, 2010. **Pengaruh Kapasitas Aliran terhadap Karakteristik Getaran pada Aliran Fluida yang Mengalami Self Excited Vibration**, Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang.
13. 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.
14. Thompson W, M. Dahleh, 1998. *Theory of Vibration with Applications*, 5th edn, Prestice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
15. Walker, Rocky, 2007, *Fluid Power Handbook & Directory*, Nevada, <http://www.hydraulicspneumatics.com>, December 2008.
16. Wardana ING, 2000. **Getaran Pipa Akibat Aliran Fluida**, Proc. Piping Technology Seminar 2000, p. 213–221.