

KARAKTERISTIK *SELF EXCITED VIBRATION* PADA ALIRAN FLUIDA DALAM PIPA FLEKSIBEL

Sufiyanto *

Abstraksi

Pertukaran antara energi tekanan dan kecepatan di dalam aliran fluida pada saat melewati daerah dengan perubahan luasan penampang akan berpengaruh terhadap stabilitas aliran fluida didalam sebuah selang (*tube*). Kecepatan aliran yang besar akan mendorong semakin cepat terjadinya penurunan stabilitas akibat terjadinya fluktuasi aliran yang ditandai dengan osilasi dinding selang yang meningkat. Osilasi yang terjadi berkembang menjadi amplitudo yang besar kemudian dikenal dengan *self excited vibration*.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik getaran yang dihasilkan dan aspek-aspek yang mempengaruhi *self excited vibration*.

Hasil yang diperoleh menunjukkan frekwensi getaran yang dihasilkan dengan pendekatan matematis antara 11 sampai dengan 14 Hz. Rasio jepit (*pinch ratio*) selang yang menghasilkan kondisi aliran kritis 0.56 s/d 0.59 pada kapasitas aliran antara 12 s/d 16 liter/menit. Semakin tinggi kapasitas aliran akan meningkatkan momentum aliran fluida di dalam selang.

Kata Kunci : Karakteristik Getaran, *Self Excited Vibration*, Momentum Aliran

PENDAHULUAN

Aliran fluida yang memiliki kecepatan, tekanan dan perubahan keduanya yang terjadi dalam suatu aliran fluida memberikan kontribusi terjadinya getaran, tumbukan, tekanan balik yang umum terjadi dalam pengoperasian mesin-mesin hidrolis. Tumbukan, tekanan balik dan getaran dapat mengakibatkan pembengkokan pada sistem perpipaan. Pada kasus yang ekstrim dapat mengakibatkan keretakan pada sistem perpipaan. Pompa dan katup merupakan penyebab terbesar terjadinya getaran dan tumbukan akibat perubahan drastis tekanan dan kecepatan yang terjadi pada komponen tersebut.

Getaran yang muncul dalam sistem perpipaan merupakan hal yang tak dapat dihindarkan. Untuk menjamin keamanan dari sistem, getaran yang dapat diterima oleh sistem perpipaan dapat ditentukan dengan

adanya batas maksimum tegangan akibat getaran dalam pipa. Selain itu untuk mengurangi getaran yang terjadi dapat dilakukan dengan cara mengatur kondisi pengoperasian yang dapat menghindari terjadinya getaran dalam sistem perpipaan.

Dalam hasil penelitian ini, fenomena terjadinya getaran yang dibangkitkan sendiri (*self excited vibration*) ditimbulkan oleh adanya perubahan luasan penampang aliran akibat adanya jepitan (*pinch*). 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.

Karakteristik aliran yang dapat menimbulkan terjadinya *self excited vibration* perlu dikaji sebagai upaya untuk memprediksi getaran yang terjadi terkait

* Dosen Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang

dengan analisa kegagalan akibat kelelahan (*fatigue*).

KAJIAN PUSTAKA

Difinisi *Self-Excited Vibrations*

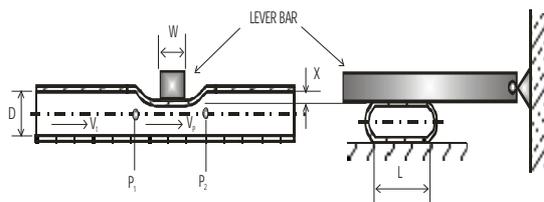
Self-excited vibrations dalam mekanika fluida adalah sebuah getaran yang berubah menjadi tidak stabil (*unstable*) tanpa adanya gangguan eksternal tetapi dicirikan dengan sebuah kondisi awal yang stabil dalam aliran tunak (*steady flow*). Getaran yang terjadi berkembang dari sebuah aliran dan kemudian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

Dalam sebuah sistem dengan getaran yang dibangkitkan sendiri, gangguan-gangguan eksternal sangat kecil selalu muncul memisahkan energi dari aliran dan kemudian berkembang seiring waktu.

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), 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

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

r : densitas fluida

β : x/D

Dalam penurunan persamaan matematis diperlukan penyederhanaan yang merupakan asumsi yang dibuat untuk model :

1. Merupakan aliran fluida inkompresibel satu dimensi.
2. Aliran memusat sebelum jepitan dan masuk daerah jepitan tanpa gesekan.
3. Aliran menyebar keluar jepitan dengan kerugian tekanan $(K/2)(V_p - V_t)^2$, dan apabila perbedaan aliran keluar jepitan pada sudut yang besar (90°), maka K diambil mendekati 1.

4. Tekanan tiba-tiba yang mengikuti aliran menyebar dari jepitan adalah tekanan atmosfer (P_a), mengabaikan kerugian tekanan dalam sisi keluar selang pada jepitan.
5. Aliran dipertimbangkan tunak (*steady flow*) jika analisis termasuk ketidakstabilan awal dan bukan aliran sesudahnya.

Kriteria getaran *self-excited* terjadi pada :

$$\frac{pWrV_t^2}{8} \left[\frac{1+3b_e^2}{(1-b_e^2)^3} \right] > K + \frac{pW}{4}(P_t - P_a) \quad (1)$$

Besaran yang termasuk dalam kurung pada persamaan 11 meningkat cepat ketika β_e mencapai 1, yaitu ketika x_e mendekati D . Hal ini sangat sensitif sebagai contoh hanya 2% variasi pada $\beta_e = 0,8$ menghasilkan 20-30% perubahan pada sisi kiri kriteria stabilitas persamaan 1.

Persamaan Getaran

Pendekatan matematis untuk menentukan kriteria stabilitas dan mekanisme terjadinya *self excited vibration* 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 :

$$m\ddot{x} + kx = 0 \quad (2)$$

Persamaan 1 apabila disusun kembali akan menghasilkan persamaan yang sama dengan persamaan 2, yaitu :

$$m\ddot{x} + \left\{ \begin{aligned} & \left[K + \frac{pW}{4}(P_t - P_a) \right] \\ & - \left[\frac{pWrV_t^2(1+3b_e^2)}{8(1-b_e^2)^3} \right] \end{aligned} \right\} x_1 = 0 \quad (3)$$

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 :

$$x = A \sin w_n t \quad (4)$$

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

$$f = \frac{1}{2p} w_n \quad (5)$$

Dan $w_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ yang diperoleh dari persamaan 2, sehingga nilai kecepatan sudut w_n dari persamaan *self excited vibration* persamaan 3 adalah

$$w_n = \sqrt{\frac{\left\{ \begin{aligned} & \left[K + \frac{pW}{4}(P_t - P_a) \right] \\ & - \left[\frac{pWrV_t^2(1+3b_e^2)}{8(1-b_e^2)^3} \right] \end{aligned} \right\}}{m}} \quad (6)$$

Dalam sistem perpipaan, aliran fluida dengan kondisi tertentu dapat mengakibatkan terjadinya getaran. Getaran tersebut tidak dipengaruhi oleh adanya gaya luar yang bekerja pada pipa tetapi disebabkan oleh

perilaku aliran fluida di dalam pipa yang kemudian dikenal dengan getaran yang dibangkitkan sendiri (*self excited vibration*).

Dalam penelitian ini akan menyelidiki karakteristik aliran yang dihasilkan saat getaran yang dibangkitkan sendiri muncul pada aliran fluida didalam selang (*tube*) Karakteristik aliran akan ditunjukkan oleh persamaan getaran yang dihasilkan pada saat terjadinya *self excited vibration*. Getaran yang terjadi akan semakin besar apabila perubahan luasan penampang saluran yang dilalui fluida dan kecepatan aliran fluida semakin besar. Stabilitas sistem akan menurun dengan semakin besarnya perubahan penampang aliran dan kecepatan aliran fluida. Pada keadaan ini frekwensi dan amplitudo meningkat dan merupakan kondisi kritis yang dapat menyebabkan kegagalan lelah akibat fluktuasi getaran yang besar. Karakteristik aliran ini perlu dikaji sebagai upaya untuk memprediksi getaran yang terjadi terkait dengan analisa kegagalan akibat kelelahan (*fatigue*).

METODOLOGI PENELITIAN

Prosedur penelitian

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

1. menghidupkan pompa untuk mengalirkan fluida melewati selang.
2. mengatur kecepatan aliran yang ditunjukkan oleh *flow meter* dengan memutar kran
3. mengukur tekanan yang dihasilkan oleh aliran fluida dengan *pressure gauge*.

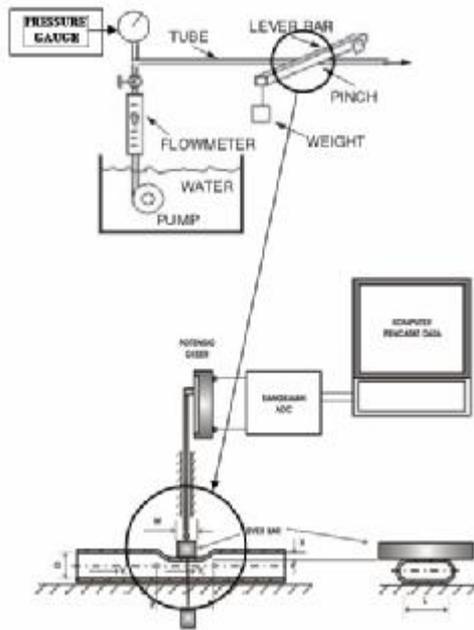
4. memberikan beban pada *lever bar* untuk mengatur besarnya rasio jepitan (*pinch ratio*) yang diukur menggunakan *dial indicator*.
5. getaran *lever bar* akan mendorong batang penghubung yang menggeser kaki potensio geser sehingga menghasilkan perubahan hambatan.
6. untuk merekam fluktuasi getaran 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 frekwensi dan amplitudo getaran yang dihasilkan sehingga diperoleh persamaan getaran.

Analisa data

Data yang diperoleh meliputi kondisi aliran yang menyebabkan terjadinya *self excited vibration* 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 frekwensi dan amplitudo getaran yang dihasilkan untuk menentukan persamaan getaran sehingga dapat diperoleh karakteristik getaran.

Semakin besar frekwensi dan amplitudo getaran menunjukkan bahwa stabilitas aliran menurun yang disebabkan oleh peningkatan kecepatan aliran (*flow rate*) dan rasio jepitan (*pinch ratio*).

Skema pengujian



Gambar 3. Skema Alat Uji

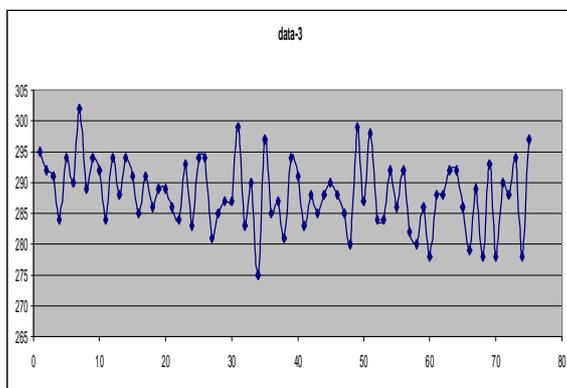
HASIL DAN PEMBAHASAN

§ Data Pengujian

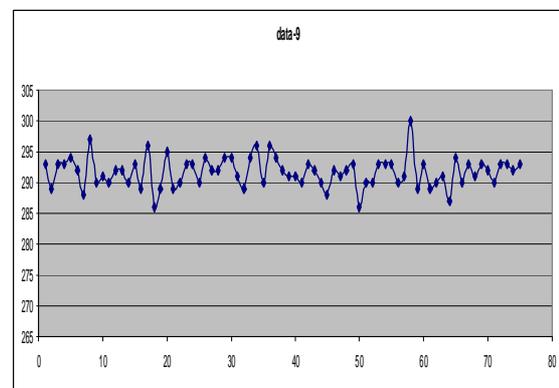
Data frekwensi dan amplitudo getaran yang dihasilkan oleh sensor getaran selama pengujian berlangsung dibaca oleh alat ADC kemudian diolah dengan program. Data yang dihasilkan oleh program berupa data angka kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik (gambar 4) untuk selanjutnya dilakukan analisa frekwensi dan amplitudo getaran yang dihasilkan saat terjadi *self excited vibration*.

Tabel 1. Data Pengukuran Tekanan, Debit dan Jarak Jepitan (*Pinch*)

| Kapasitas (liter/menit) | Pembebanan (kg) | Tekanan P (Psi) | | | Diameter <i>Pinch</i> d (mm) | | |
|-------------------------|-----------------|-------------------|-----------|------|--------------------------------|----------|------|
| | | P_{high} | P_{low} | DP | d_{down} | d_{up} | Dd |
| 12.00 | 0.20 | 6.20 | 4.60 | 1.60 | 4.86 | 4.45 | 0.41 |
| | 0.22 | 6.10 | 5.20 | 0.90 | 4.74 | 4.41 | 0.33 |
| | 0.24 | 6.20 | 5.40 | 0.80 | 4.71 | 4.46 | 0.25 |
| 13.50 | 0.20 | 6.30 | 4.80 | 1.50 | 4.95 | 4.50 | 0.45 |
| | 0.22 | 6.70 | 5.50 | 1.20 | 4.87 | 4.47 | 0.40 |
| | 0.24 | 7.00 | 5.90 | 1.10 | 4.85 | 4.42 | 0.43 |
| 16.00 | 0.20 | 8.10 | 6.20 | 1.90 | 5.05 | 4.71 | 0.34 |
| | 0.22 | 8.20 | 6.45 | 1.75 | 5.03 | 4.69 | 0.34 |
| | 0.24 | 8.35 | 6.65 | 1.70 | 5.00 | 4.67 | 0.33 |



a.



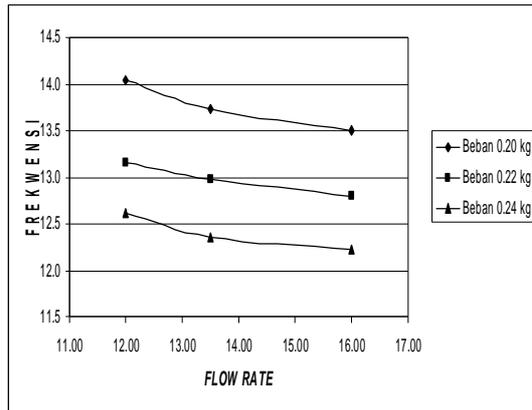
b.

Gambar 4. Karakteristik Getaran Dengan Kapasitas Aliran 12 Liter/menit Pada Pembebanan a. 200 gram, b. 240 gram

§ Perhitungan model matematis

Frekwensi model matematis yang dihasilkan dengan menggunakan persamaan 3, dapat dilihat pada tabel 2.

Dari tabel perhitungan frekwensi model matematis dapat ditampilkan dalam bentuk grafik (gambar 5.)

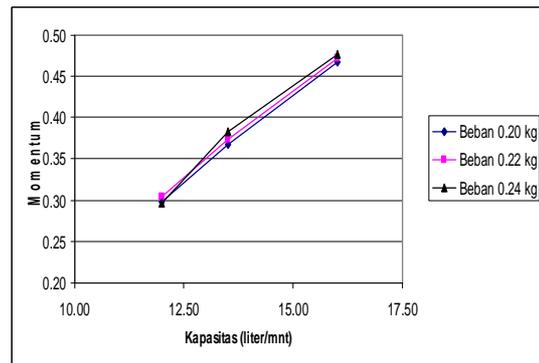


Gambar 5. Frekwensi Model Matematis Pada Pembeban 0.20 s/d 0.24 kg

Pada saat aliran fluida melewati daerah jepitan (*pinch area*), maka akan terjadi

peningkatan kecepatan aliran yang menghasilkan perubahan momentum aliran (tabel 3). Peningkatan kecepatan terjadi sebagai akibat adanya perubahan penampang selang (*tube*) yang mengalami jepitan sesuai dengan prinsip kontinuitas dalam aliran.

Karakteristik perubahan momentum aliran dapat dilihat pada grafik (gambar 6) berikut.



Gambar 6. Perubahan Momentum Aliran

Tabel 2. Perhitungan Frekwensi Model Matematis

| | | Luas Penampang (A) m ² | | | | | | | | | |
|--------|--|-----------------------------------|-------|------|------|------|-------|----------|------------|----------|--|
| | | 7.08E-05 | | | | | | | | | |
| m (kg) | (P _r -P _a) N/m ² | Kecepatan Aliran V _t | | K | W | r | be | K sistem | w = √(K/m) | f = w/2p | |
| | | lt/menit | m/dtk | | | | | | | | |
| 0.20 | 11031.68 | 12.00 | 2.82 | 1724 | 0.01 | 1000 | 0.588 | 1554.54 | 88.16 | 14.04 | |
| 0.20 | 10342.20 | 13.50 | 3.18 | 1724 | 0.01 | 1000 | 0.583 | 1486.68 | 86.22 | 13.73 | |
| 0.20 | 13100.12 | 16.00 | 3.76 | 1724 | 0.01 | 1000 | 0.564 | 1436.02 | 84.74 | 13.49 | |

| m (kg) | (P _r -P _a) N/m ² | Kecepatan Aliran V _t | | K | W | r | be | K sistem | w = √(K/m) | f = w/2p |
|--------|--|---------------------------------|-------|------|------|------|-------|----------|------------|----------|
| | | lt/menit | m/dtk | | | | | | | |
| 0.22 | 6205.32 | 12.00 | 2.82 | 1724 | 0.01 | 1000 | 0.592 | 1501.74 | 82.62 | 13.16 |
| 0.22 | 8273.76 | 13.50 | 3.18 | 1724 | 0.01 | 1000 | 0.586 | 1460.57 | 81.48 | 12.97 |
| 0.22 | 12065.90 | 16.00 | 3.76 | 1724 | 0.01 | 1000 | 0.566 | 1421.14 | 80.37 | 12.80 |

| m (kg) | (P _r -P _a) N/m ² | Kecepatan Aliran V _t | | K | W | r | be | K sistem | w = √(K/m) | f = w/2p |
|--------|--|---------------------------------|-------|------|------|------|-------|----------|------------|----------|
| | | lt/menit | m/dtk | | | | | | | |
| 0.24 | 5515.84 | 12.00 | 2.82 | 1724 | 0.01 | 1000 | 0.587 | 1504.37 | 79.17 | 12.61 |
| 0.24 | 7584.28 | 13.50 | 3.18 | 1724 | 0.01 | 1000 | 0.591 | 1442.62 | 77.53 | 12.35 |
| 0.24 | 11721.16 | 16.00 | 3.76 | 1724 | 0.01 | 1000 | 0.568 | 1412.67 | 76.72 | 12.22 |

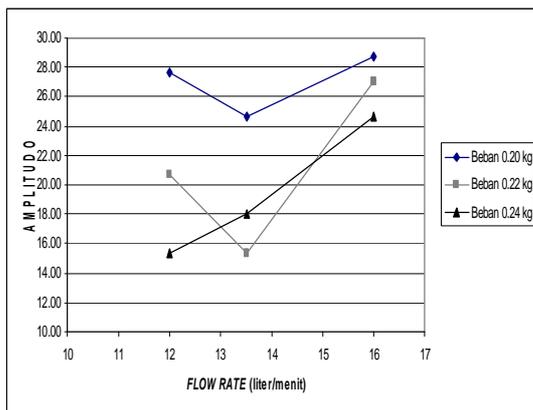
Tabel 3. Perubahan Momentum Aliran

| Atube | | 7.08E-05 | | | | | | |
|------------|-------------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|-------------|------|------------------------|
| Beban (kg) | flowmeter (liter/menit) | simpangan (dial) | rasio β_e | luas daerah jepit A_{pinch} | kecepatan aliran | | | momentum $m' \cdot DV$ |
| | | | | | V_{tube} | V_{pinch} | DV | |
| 0.20 | 12.00 | 4.45 | 58.80% | 4.64E-05 | 2.82 | 4.31 | 1.49 | 0.298 |
| 0.20 | 13.50 | 4.50 | 58.33% | 4.67E-05 | 3.18 | 4.81 | 1.64 | 0.369 |
| 0.20 | 16.00 | 4.71 | 56.39% | 4.83E-05 | 3.76 | 5.52 | 1.75 | 0.468 |
| rata-rata | 13.83 | 4.55 | 57.84% | 4.71E-05 | 3.25 | 4.88 | 1.63 | 0.38 |

| Beban (kg) | flowmeter (liter/menit) | simpangan (dial) | rasio β_e | luas daerah jepit A_{pinch} | kecepatan aliran | | | momentum $m' \cdot DV$ |
|------------|-------------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|-------------|------|------------------------|
| | | | | | V_{tube} | V_{pinch} | DV | |
| 0.22 | 12.00 | 4.41 | 59.17% | 4.60E-05 | 2.82 | 4.34 | 1.52 | 0.304 |
| 0.22 | 13.50 | 4.47 | 58.61% | 4.65E-05 | 3.18 | 4.84 | 1.66 | 0.374 |
| 0.22 | 16.00 | 4.69 | 56.57% | 4.82E-05 | 3.76 | 5.54 | 1.77 | 0.472 |
| rata-rata | 13.83 | 4.52 | 58.12% | 4.69E-05 | 3.25 | 4.91 | 1.65 | 0.38 |

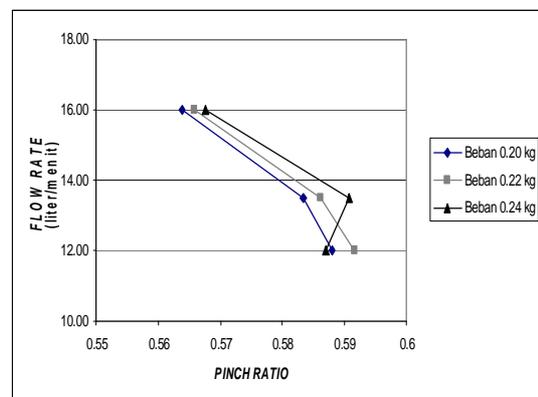
| Beban (kg) | flowmeter (liter/menit) | simpangan (dial) | rasio β_e | luas daerah jepit A_{pinch} | kecepatan aliran | | | momentum $m' \cdot DV$ |
|------------|-------------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|-------------|------|------------------------|
| | | | | | V_{tube} | V_{pinch} | DV | |
| 0.24 | 12.00 | 4.46 | 58.70% | 4.64E-05 | 2.82 | 4.31 | 1.48 | 0.297 |
| 0.24 | 13.50 | 4.42 | 59.07% | 4.61E-05 | 3.18 | 4.88 | 1.70 | 0.383 |
| 0.24 | 16.00 | 4.67 | 56.76% | 4.80E-05 | 3.76 | 5.55 | 1.79 | 0.477 |
| rata-rata | 13.83 | 4.52 | 58.18% | 4.69E-05 | 3.25 | 4.91 | 1.66 | 0.39 |

Pengaruh perubahan kapasitas aliran terhadap karakteristik amplitudo getaran yang dihasilkan dari data pengujian dapat dilihat pada grafik (gambar 7).



Gambar 7. Pengaruh Kapasitas Aliran Terhadap Amplitudo Getaran

Kondisi aliran kritis yang memungkinkan terjadi *self excited vibration* yaitu pada saat nilai *pinch ratio* berkisar antara 56% s/d 59% seperti tampak pada gambar 8.



Gambar 8. Kondisi Aliran Kritis

§ Pembahasan

Mekanisme terjadinya *self excited vibrations* diawali dengan adanya perubahan arah aliran fluida didalam selang saat melewati daerah jepitan (*pinch area*). Perubahan penampang selang akan mempengaruhi arah vektor aliran yang menyebabkan aliran fluida tidak stabil (*steady*). Selain itu fluida yang mengalir didalam selang mempunyai energi yang

diperoleh dari pompa dan sesuai dengan hukum Bernoulli terdiri dari energi yang berupa tekanan dan kecepatan. Pada saat melewati daerah jepitan, terjadi pertukaran energi antara energi tekanan dan energi kecepatan secara bergantian. Pertukaran energi tersebut akan menyebabkan terjadinya fluktuasi aliran yang berdampak pada munculnya getaran pada selang.

Ketika fluida melewati daerah jepitan, kecepatan aliran fluida akan meningkat sedangkan tekanannya akan menurun sesuai dengan persamaan kontinuitas. Penurunan tekanan akan berlangsung terus sampai tidak mampu menahan beban jepit yang diberikan dan volume fluida di bawah daerah jepitan akan berkurang. Beberapa saat kemudian dinding selang akan menutup dan aliran fluida tertahan sehingga tekanan pada sisi masuk daerah jepitan meningkat. Tekanan sisi masuk akan bertambah sampai dinding selang akan membuka kembali dan terjadi kesetimbangan dengan beban jepit. Mekanisme gerakan buka-tutup pada dinding selang terjadi secara bergantian sehingga menghasilkan getaran pada dinding selang. Getaran tersebut muncul dengan sendirinya akibat perubahan tekanan dan kecepatan aliran saat melewati daerah jepit. Getaran seperti ini yang disebut dengan getaran yang dibangkitkan sendiri (*self excited vibration*).

Pada saat rasio jepitan diperbesar dengan cara menambahkan beban penjepit, maka amplitudo getaran yang ditunjukkan dengan simpangan akan mengalami penurunan. Penurunan simpangan atau

amplitudo getaran akan diikuti dengan bertambahnya frekwensi getaran. Hal ini disebabkan oleh energi tekanan yang dimiliki fluida akan dialihkan menjadi energi kecepatan. Energi tekanan identik dengan amplitudo sedangkan energi kecepatan identik dengan frekwensi getaran. Pada saat energi tekanan ditahan oleh beban penjepit maka simpangan getaran akan menurun dan energi fluida dialihkan menjadi energi kecepatan yang akan meningkatkan frekwensi getaran. Pada gambar 4 diatas ditunjukkan beban jepit yang diberikan 200 gram dan 240 gram. Pada beban 240 gram, amplitudo atau simpangan getaran lebih kecil dari simpangan yang dihasilkan oleh pembebanan 200 gram. Sebaliknya pada beban 240 gram frekwensi getaran yang dihasilkan meningkat dibandingkan pada beban 200 gram. Hal ini diakibatkan adanya pertukaran antara energi tekanan dan energi kecepatan yang dimiliki oleh fluida saat melewati daerah jepitan (*pinch area*).

Persamaan model matematis digunakan untuk membandingkan karakteristik getaran yang dihasilkan dari pengujian dengan karakteristik getaran berdasar persamaan matematis. Ternyata dari frekwensi yang dihasilkan pada tabel 2 dan gambar 5 dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya beban penjepitan justru akan menurunkan frekwensi model. Hal ini berbeda dengan frekwensi hasil penelitian justru menunjukkan peningkatan dengan bertambahnya beban jepit. Pada persamaan matematis (3) hanya menunjukkan perubahan frekwensi

sedangkan amplitudo tidak dapat ditunjukkan atau dianggap konstan. Frekwensi dipengaruhi oleh besarnya konstanta pegas dan massa beban yang diberikan. Secara teoritis frekwensi getaran akan berkurang apabila massa yang diberikan bertambah. Selain itu konstanta elastis sistem ternyata juga mengalami penurunan dengan bertambahnya beban jepit. Penurunan nilai konstanta elastis sistem sebagai akibat dari berkurangnya volume fluida yang berada dibawah daerah jepit (*pinch*) yang ditunjukkan dengan *pinch ratio* yang bertambah.

Perubahan momentum aliran sebagai akibat terjadinya perubahan kecepatan aliran pada saat fluida melewati luasan saluran yang berbeda. Kecepatan aliran meningkat pada saat memasuki daerah jepit dengan luas penampang yang menyempit sesuai prinsip kontinuitas. Berdasar pada tabel 3 dan gambar 6 ditunjukkan bahwa momentum aliran fluida meningkat seiring dengan peningkatan kapasitas aliran.

Dampak perubahan momentum aliran akan mempengaruhi karakteristik getaran yang dihasilkan. Gerakan dinding selang naik turun identik dengan amplitudo getaran yang dihasilkan. Gerakan osilasi dinding selang merupakan kesetimbangan antara gaya potensial yang dimiliki oleh kekakuan selang dan gaya fluida yang dihasilkan oleh momentum aliran dengan beban jepit yang diberikan. Dengan meningkatnya *flow rate* akan meningkatkan momentum aliran sehingga menghasilkan gerakan osilasi

dinding selang yang dinyatakan sebagai amplitudo yang lebih besar (gambar 7).

Kondisi aliran yang dapat memunculkan *self excited vibration* disebut dengan kondisi aliran kritis yang ditentukan dengan nilai *pinch ratio* pada selang. Nilai *pinch ratio* yang menghasilkan kondisi kritis adalah antara 0.56 s/d 0.59 (gambar 8). Kondisi aliran kritis untuk kapasitas yang besar terjadi pada nilai *pinch ratio* yang lebih kecil dibandingkan untuk kapasitas yang kecil.

SIMPULAN

Self excited vibration terjadi sebagai akibat adanya perubahan arah aliran fluida pada saat melewati daerah jepitan sehingga terjadi aliran tidak stabil (*unsteady flow*). Pada kondisi tersebut terjadi pertukaran energi yang dimiliki fluida antara energi tekanan dan energi kecepatan yang akan berpengaruh terhadap karakteristik getaran yaitu amplitudo dan frekwensi *self excited vibration* yang muncul.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, S.S., and G.S. Rosenberg, 1973. *Vibration And Stability Of A Tube Conveying Fluid*, Argone National Laboratories ANL-7762, Int Ref. N71 – 34631
- Heil, Matthias, And Sarah L. Waters, 2006. *Transverse Flows In Rapidly Oscillating Elastic Cylindrical Shells*, J. Fluid Mech. (2006), 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
- Naguleswararn, 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
- 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
- Thompson, W., M. Dahleh, 1998. *Theory of Vibration with Applications*, 5th edn, Prestice-Hall, Upper Saddle River, NJ