

ANALISIS KARAKTERISTIK GETARAN PADA SISTEM PERPIPAAN AKIBAT PERUBAHAN JARAK TUMPUAN KLEM

Ryan Hadi Pamungkas¹, Sufiyanto²

Abstraksi

Stabilitas sistem perpipaan dipengaruhi oleh perubahan kecepatan aliran fluida didalam pipa dan kekakuan sistem (*stiffness*). Pada kecepatan aliran (*flow rate*) yang besar, fluida akan menekan dinding pipa dan dapat mengakibatkan pipa melengkung (*bending*). Frekwensi natural sistem akan menurun dengan bertambahnya kecepatan aliran yang beresiko terjadinya resonansi. Peningkatan kekakuan dapat meningkatkan frekwensi natural dari sistem sehingga dapat meredam terjadinya getaran atau resonansi. Salah satu upaya yang dilakukan untuk meningkatkan stabilitas sistem perpipaan adalah dengan penggunaan *clamping system*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa stabilitas sistem perpipaan akibat variasi jarak tumpuan klem dengan mengamati karakteristik getaran pada pipa.

Metode yang digunakan adalah pengujian eksperimental dengan mengukur frekwensi getaran yang terjadi akibat variasi jarak tumpuan/klem pipa. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan semakin pendek jarak tumpuan klem maka frekwensi getaran yang semakin tinggi yang ditunjukkan dengan kerapatan gelombang dan amplitudo simpangan dari getaran yang dihasilkan. Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah peningkatan stabilitas sistem perpipaan dapat dilakukan dengan mengatur jarak klem/tumpuan dan diameter serta ketebalan pipa yang akan berpengaruh terhadap kekakuan struktur dari sistem perpipaan.

Kata Kunci : Karakteristik Getaran, Kekakuan, Stabilitas Sistem

PENDAHULUAN

Dalam ilmu teknik mesin terdapat dua bidang kajian yang telah dikenal secara luas yaitu getaran mekanik dan mekanika fluida, tetapi kajian tentang kombinasi getaran mekanik yang terjadi di dalam sebuah sistem fluida jarang dilibatkan.

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 (Walker, 2007).

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. Ditinjau dari kegagalan akibat terjadinya kelelahan (*fatigue*), tegangan dinamik yang ditimbulkan tidak boleh melebihi batas ijin 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 frekwensi dan amplitudo getaran.

Pada kasus tertentu dimana kecepatan aliran sangat tinggi dapat mengakibatkan

¹ Mahasiswa Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang

² Dosen Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang

penurunan frekwensi natural sehingga memungkinkan terjadinya resonansi yang berdampak pada kegagalan *fatigue* (Wardana, 2000). Stabilitas pipa pada kecepatan aliran yang tinggi akan berkurang. Selain itu untuk mengurangi getaran yang terjadi dapat dilakukan dengan cara meningkatkan stabilitas dari instalasi sistem perpipaan. Peningkatan stabilitas dapat dilakukan dengan meningkatkan kekakuan sistem melalui pengaturan tumpuan (klem) pada pipa.

Getaran yang muncul didalam aliran berpengaruh terhadap terjadinya fluktuasi tekanan dan kecepatan fluida sehingga berpotensi mengakibatkan kerugian energi (*losses*). Dengan bertambahnya *losses*, maka energi pompa yang dibutuhkan menjadi lebih besar dengan munculnya fluktuasi dalam aliran akibat getaran.

Stabilitas sistem perpipaan dipengaruhi oleh perubahan kecepatan aliran fluida didalam pipa dan kekakuan sistem (*stiffness*). Pada kecepatan aliran (*flow rate*) yang besar, fluida akan menekan dinding pipa dan dapat mengakibatkan pipa melengkung (*bending*). Selain itu frekwensi natural sistem akan menurun dengan bertambahnya kecepatan aliran yang beresiko terjadinya resonansi. Peningkatan kekakuan dapat meningkatkan frekwensi natural dari sistem sehingga dapat meredam terjadinya getaran atau resonansi. Salah satu upaya yang dilakukan untuk meningkatkan stabilitas sistem perpipaan adalah dengan penggunaan *clamping system*. Pengaturan jarak klem dapat berpengaruh

terhadap kekakuan pada sistem perpipaan yang nantinya berdampak pada stabilitasnya.

Pada sistem dengan stabilitas yang tinggi akan dapat mengurangi dampak getaran dan resonansi getaran karena memiliki frekwensi natural yang tinggi. Kerugian energi akibat fluktuasi aliran akan berkurang dengan meningkatnya stabilitas sistem.

Adapun yang menjadi tujuan dalam penelitian ini adalah menentukan karakteristik stabilitas sistem akibat pengaruh perubahan jarak tumpuan yang ditunjukkan dengan frekwensi dan amplitudo getaran yang dihasilkan.

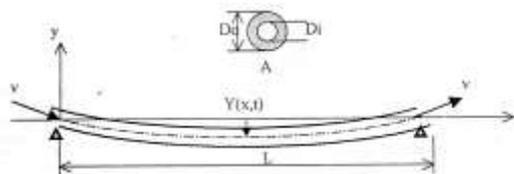
Manfaat yang dapat diperoleh dengan mengetahui karakteristik stabilitas pada sistem perpipaan adalah bagi **perkembangan iptek** dapat dikembangkannya sistem peredaman getaran, metode untuk menentukan stabilitas dan analisis tegangan pada instalasi perpipaan. Sedangkan aplikasi bagi **dunia industri** dapat mengurangi dampak kerugian akibat timbulnya keretakan, kegagalan fatik serta pembengkokan pada pipa serta kerugian energi akibat fluktuasi aliran fluida dalam pipa yang mengalami getaran. Dalam instalasi sistem perpipaan dengan tekanan dan kecepatan aliran yang tinggi, dituntut faktor keselamatan yang tinggi untuk menghindari terjadinya kecelakaan kerja akibat timbulnya retak dan kegagalan fatik yang dapat menyebabkan kebocoran dalam sistem perpipaan. Selain itu dapat digunakan sebagai acuan untuk penentuan kondisi operasional yang dapat

menekan terjadinya kerugian energi akibat getaran pada sistem perpipaan. Untuk itu diperlukan suatu kondisi operasi yang aman dengan mengetahui karakteristik stabilitas aliran fluida untuk menghindari terjadinya getaran.

KAJIAN PUSTAKA

Kegagalan *fatigue* dapat terjadi apabila muncul resonansi getaran jika frekwensi natural turun sampai pada batas tertentu (Wardana, 2000). Dalam sistem perpipaan, jika kecepatan aliran fluida melebihi batas kritis maka pipa menjadi tidak stabil. Dari hasil penurunan persamaan getaran pipa dengan tumpuan di kedua ujungnya diperoleh kesimpulan bahwa frekwensi natural pipa berkurang dengan meningkatnya kecepatan kritis fluida yang mengalir dalam pipa.

Persamaan Pipa Lengkung

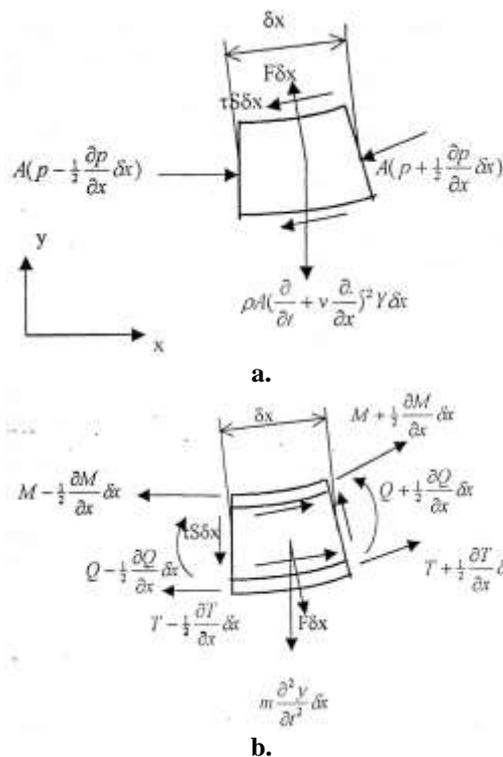


Gambar 1. Model Matematis Persamaan Gerak Fluida (Wardana, 2000)

Pendekatan untuk menentukan persamaan gerakan fluida yang mengalir dalam pipa berdasarkan model matematis. Pada gambar 1 ditunjukkan sebuah bentangan pipa yang melengkung kearah transversal sebesar Y(x , t) dari posisi horisontalnya. Fluida yang mengalir didalam pipa mempunyai densitas (ρ), tekanan (p) dan kecepatan konstan (v) melalui penampang pipa bagian dalam dengan luas (A). Panjang section pipa yang diamati (L)

dengan modulus elastisitas (E) dan momen inersia penampang (I).

Sebuah elemen kecil potongan diambil dari pipa untuk melihat kesetimbangan gaya dan momen yang terjadi pada elemen fluida dan elemen pipa (gambar 2).



Gambar 2. Gaya dan Momen Yang Bekerja Pada a. Elemen Fluida, b. Elemen Pipa (Wardana, 2000)

Persamaan gerak yang diturunkan berdasarkan gambar 2 untuk getaran bebas pada pipa yang dialiri fluida di dalamnya adalah sbb :

$$EI \frac{\partial^4 Y}{\partial x^4} + \rho A v^2 \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} + 2 \rho A v \frac{\partial^2 Y}{\partial x \partial t} + m_t \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} = 0. \tag{1}$$

Dengan $m_t = m + \rho A$ yaitu massa tiap satuan panjang pipa ditambah fluida didalam pipa. Sedangkan kondisi batas yang dibutuhkan untuk menyelesaikan persamaan (1) diatas adalah :

$$Y(0,t) = Y(L,t) = 0$$

$$\frac{\partial^2 Y}{\partial t^2}(0,t) = \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2}(L,t) = 0 \quad (2)$$

Solusi dari persamaan (1) dengan memasukkan kondisi batas persamaan (2) menghasilkan persamaan berikut :

$$Y(x,t) = a_1 \psi(x) \sin \omega t + a_2 \psi(x) \cos \omega t, \quad (3)$$

Frekwensi natural dari pipa tanpa fluida yang mengalir didalamnya diperoleh dengan persamaan

$$\omega_N = \frac{\pi^2}{L^2} \left(\frac{EI}{m_l} \right)^{1/2} \quad (4)$$

Sedangkan kecepatan kritis aliran yang dapat mengakibatkan pipa mengalami tekuk ditentukan dengan

$$v_c = \frac{\pi}{L} \left(\frac{EI}{\rho A} \right)^{1/2} \quad (5)$$

Dampak getaran akan menjadi sangat signifikan apabila terjadi resonansi dimana frekwensi getaran mendekati atau berhimpit dengan frekwensi natural sistem. Efek penguatan akan terjadi apabila kecepatan aliran fluida mencapai kecepatan aliran kritis sesuai persamaan 6 dibawah.

$$\frac{\omega_1}{\omega_N} = \left[1 - \left(\frac{v}{v_c} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (6)$$

METODOLOGI

• Variabel penelitian

Variabel bebas :

- L = jarak antar dua tumpuan (m)
- Q = kapasitas aliran fluida (liter/menit) yang dilakukan dengan mengatur bukaan katup (kran)

Variabel terikat :

- v_c = kecepatan aliran kritis (m/dtk)
- ω_n = frekwensi getaran (Hz)
- H_{lose} = kerugian tekanan akibat fluktuasi aliran saat getaran muncul (m)

• Alat yang digunakan

1. Pompa air (*water pump*) :
2. Pengukur aliran (*flow meter*)
3. Pengukur tekanan (*pressure gauge*)
4. Sensor pencatat getaran
5. Jangka sorong
6. Komputer

Prosedur Penelitian

Adapun langkah pengujian yang dilakukan sbb :

1. menentukan jarak antar tumpuan pada *section* pipa yang diamati.
2. mengatur posisi sensor ukur getaran pada posisi tepat ditengah panjang pipa yang diamati.
3. mengatur besarnya kapasitas aliran dengan mengatur bukaan katup sebagai variasi kecepatan aliran.
4. merekam data getaran yang terjadi kedalam komputer.
5. mengulang langkah 1 s/d 4 dengan jarak antar tumpuan yang berbeda.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan Data

Data pipa PVC-1

$$t = 2,0 \text{ mm} \quad d_{out} = 22,5 \text{ mm}$$

$$E = 3000 \text{ N/mm}^2 \quad d_{in} = 18,5 \text{ mm}$$

Untuk inersia penampang pipa diperoleh dengan perhitungan :

$$I = \frac{\pi \cdot (d_{out}^4 - d_{in}^4)}{64} = \frac{\pi \cdot (22,5^4 - 18,5^4)}{64} = 6827,24 \text{ mm}^4$$

Luas penampang pipa didapatkan dengan perhitungan sbb :

$$A_{pipa} = \frac{\pi \cdot (d_{out}^2 - d_{in}^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (22,5^2 - 18,5^2)}{4} = 128,74 \text{ mm}^2$$

Sedangkan luasan penampang yang berisi fluida di dalam pipa adalah :

$$A_{fluida} = \frac{\pi \cdot d_{in}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 18,5^2}{4} = 268,67 \text{ mm}^2$$

Dengan menggunakan panjang bentangan pipa sepanjang 1000 mm maka volume yang diperoleh adalah :

$$\text{volume pipa} : 128740 \text{ mm}^3 = 128,74 \text{ cm}^3$$

$$\text{volume fluida} : 268666,25 \text{ mm}^3 = 268,67 \text{ cm}^3$$

Untuk menghitung massa total yang terdiri dari massa pipa dan fluida air di dalamnya dengan menggunakan data massa jenis air dan pipa sebagai berikut :

$$\text{Berat jenis air} = 1,00 \text{ gram/cm}^3 \rightarrow \text{berat air} = 268,67 \text{ gram} = 0,27 \text{ kg}$$

$$\text{Berat jenis pipa} = 1,40 \text{ gram/cm}^3 \rightarrow \text{berat pipa} = 180,24 \text{ gram} = 0,18 \text{ kg}$$

Kekakuan pipa.

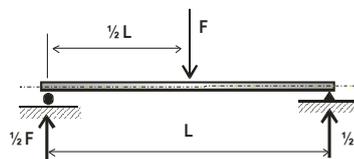
Berdasarkan analisa struktur untuk kondisi pipa dengan tumpuan sederhana diperoleh dengan persamaan sbb :

$$\delta = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I} \text{ sehingga nilai kekakuan struktur}$$

$$\text{diperoleh} : K = \frac{48 \cdot E \cdot I}{l^3}$$

Dengan variasi jarak tumpuan yang diatur untuk memperoleh kekakuan struktur yang

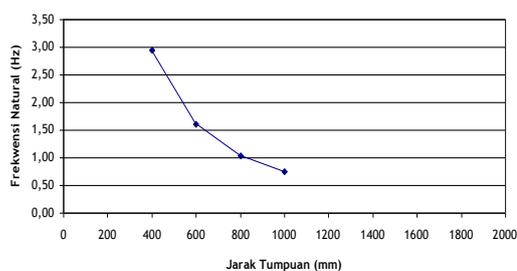
berbeda, maka dapat dilihat hasilnya pada tabel berikut. Selanjutnya dapat diperoleh frekwensi natural dari sistem tersebut.



Gambar 3. Model Struktur Sederhana

Tabel 1. Variasi Jarak Tumpuan Terhadap Kekakuan Struktur Pipa-1

E (N/mm ²)	Massa total (kg)	Jarak tumpuan (mm)	K (kN/mm)	ω_n (rad/dtk)	f_n (Hz)
3000	0,045	1000	0,98	4,68	0,75
3000	0,045	800	1,92	6,54	1,04
3000	0,045	600	4,55	10,07	1,60
3000	0,045	400	15,36	18,50	2,95



Gambar 4. Pengaruh Jarak Tumpuan Terhadap Frekwensi Pipa-1

Untuk perbandingan dengan dimensi pipa yang berbeda sebagai berikut :

Data pipa PVC-2

$$t = 1,0 \text{ mm}$$

$$d_{out} = 18,5 \text{ mm}$$

$$d_{in} = 16,5 \text{ mm}$$

$$E = 3000 \text{ N/mm}^2$$

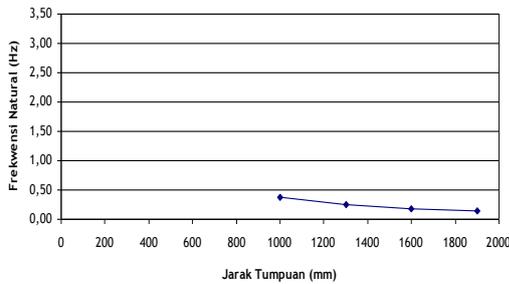
Untuk inersia penampang pipa diperoleh dengan perhitungan :

$$I = \frac{\pi \cdot (d_{out}^4 - d_{in}^4)}{64} = \frac{\pi \cdot (18,5^4 - 16,5^4)}{64} = 2110,42 \text{ mm}^4$$

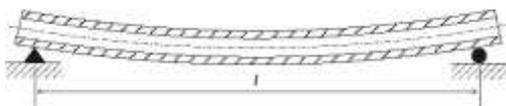
Diperoleh perhitungan kekakuan dan frekwensi naturalnya seperti tabel 2 berikut.

Tabel 2. Variasi Jarak Tumpuan Terhadap Kekakuan Struktur Pipa-2

E (N/mm ²)	Massa total (kg)	Jarak tumpuan (mm)	K (N/mm)	ω_n (rad/dtk)	f_n (Hz)
3000	0,055	1900	0,04	0,90	0,14
3000	0,055	1600	0,07	1,16	0,18
3000	0,055	1300	0,14	1,58	0,25
3000	0,055	1000	0,30	2,35	0,37



Gambar 5. Pengaruh Jarak Tumpuan Terhadap Frekwensi Pipa-2



Gambar 6. Pemodelan Struktur Pada Pipa

Analisa Data Pengujian

Aliran fluida kontinu

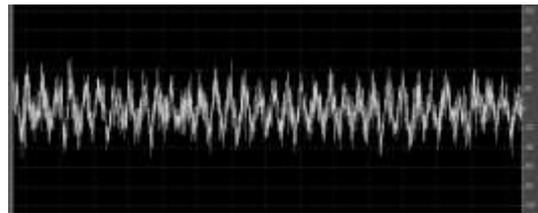
Dalam pengujian dengan metode aliran fluida kontinu yang dimaksud adalah pengukuran data dilakukan pada saat aliran fluida sedang mengalir secara kontinu di dalam pipa. Sensor ukur yang digunakan adalah sebuah mikrofon yang ditempel dan diletakkan ditengah-tengah bentangan pipa dengan jarak tumpuan/klem yang dapat diatur/diubah. Data yang terukur berbentuk grafik pola suara yang memiliki tingkat suara kebisingan (db). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa :

1. Kekakuan struktur pipa dipengaruhi oleh jarak bentangan klem/tumpuan dimana semakin besar jarak tumpuan tersebut akan menurunkan kekakuan struktur dan

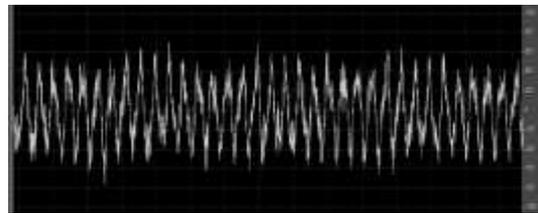
stabilitas pipa. Grafik pola suara yang dihasilkan menunjukkan bahwa semakin tinggi kekakuan struktur pipa akan menyebabkan tingkat suara kebisingan (db) yang tinggi pula seperti yang ditunjukkan pada gambar 7.

2. Selain itu semakin tinggi stabilitas struktur yang identik dengan meningkatnya kekakuan struktur menghasilkan kerapatan grafik pola suara yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa frekwensi suara akan meningkat dengan bertambahnya stabilitas struktur pipa.

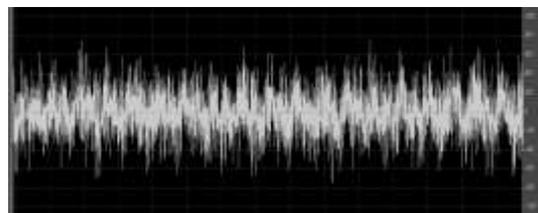
Data-1



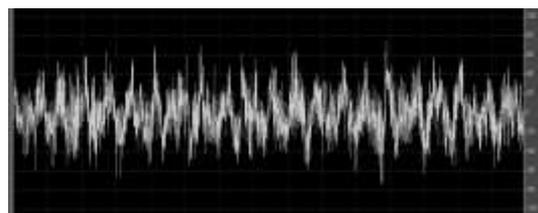
Data-2



Data-3



Data-4



Gambar 7. Pola Grafik Suara Pada Metode Aliran Fluida Kontinu

Aliran fluida tak kontinu

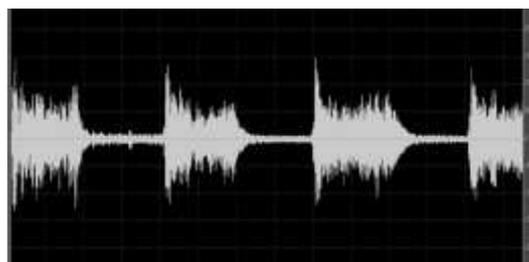
Metode pengukuran data kedua yang dilakukan dengan aliran fluida tak kontinu atau terputus-putus. Dalam metode ini dilakukan dengan cara melakukan kontrol on/off pada power pompa air secara periodik. Motor pompa diatur on/off dengan periode sekitar setengah menit sehingga fluida mengalir dalam pipa secara tak kontinu. Dengan metode tersebut aliran fluida akan menyebabkan hentakan pada saat motor listrik dinyalakan karena fluida akan mengalir secara tiba-tiba. Hentakan aliran fluida akan menyebabkan getaran pada struktur pipa yang ditunjukkan dengan terjadinya defleksi pada pipa berupa amplitudo getaran yang terukur.

Sensor ukur getaran yang digunakan adalah sebuah speaker, dimana lilitan/kumparan speaker tersebut akan menghasilkan perubahan nilai tahanan pada saat lilitan/kumparan tersebut bergerak naik/turun. Perubahan nilai tahanan tersebut kemudian dibaca oleh komputer sebagai efek yang akan menghasilkan grafik pola getaran seperti pada gambar 8. Cara pemasangan speaker sebagai sensor ukur getaran tersebut diletakkan dibawah pipa dengan jarak posisi ditengah-tengah bentangan pipa, karena posisi tengah bentangan merupakan posisi yang mempunyai defleksi terbesar pada sebuah stuktur dengan tumpuan sederhana;

Analisa yang dilakukan berdasarkan hasil pengamatan data pada metode aliran tak kontinu adalah struktur pipa yang memiliki kekakuan tinggi akan memiliki defleksi

lenturan pipa yang kecil, sehingga akan menghasilkan amplitudo getaran yang kecil. Dengan amplitudo gerakan yang kecil maka perubahan nilai tahanan pada lilitan/kumparan speaker akan kecil pula.

Data-1



Data-2



Data-3



Gambar 8. Pola Grafik Getaran Pada Metode Aliran Fluida Tak Kontinu

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa peningkatan stabilitas sistem perpipaan dapat dilakukan dengan mengatur jarak klem/tumpuan dan diameter serta ketebalan pipa. Faktor-faktor tersebut dapat berpengaruh terhadap peningkatan kekakuan struktur untuk mengurangi dampak kerugian akibat munculnya getaran pada sistem perpipaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Hadi P., Ryan, 2014, **Desain Konstruksi Sistem Perpipaan Dengan Stabilitas Tinggi Untuk Mengurangi Efek Getaran Dan Kerugian Energi**, Program Kreativitas Mahasiswa-Penelitian (PKM-P), Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang
- 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.