

**BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Data Hasil Pengujian

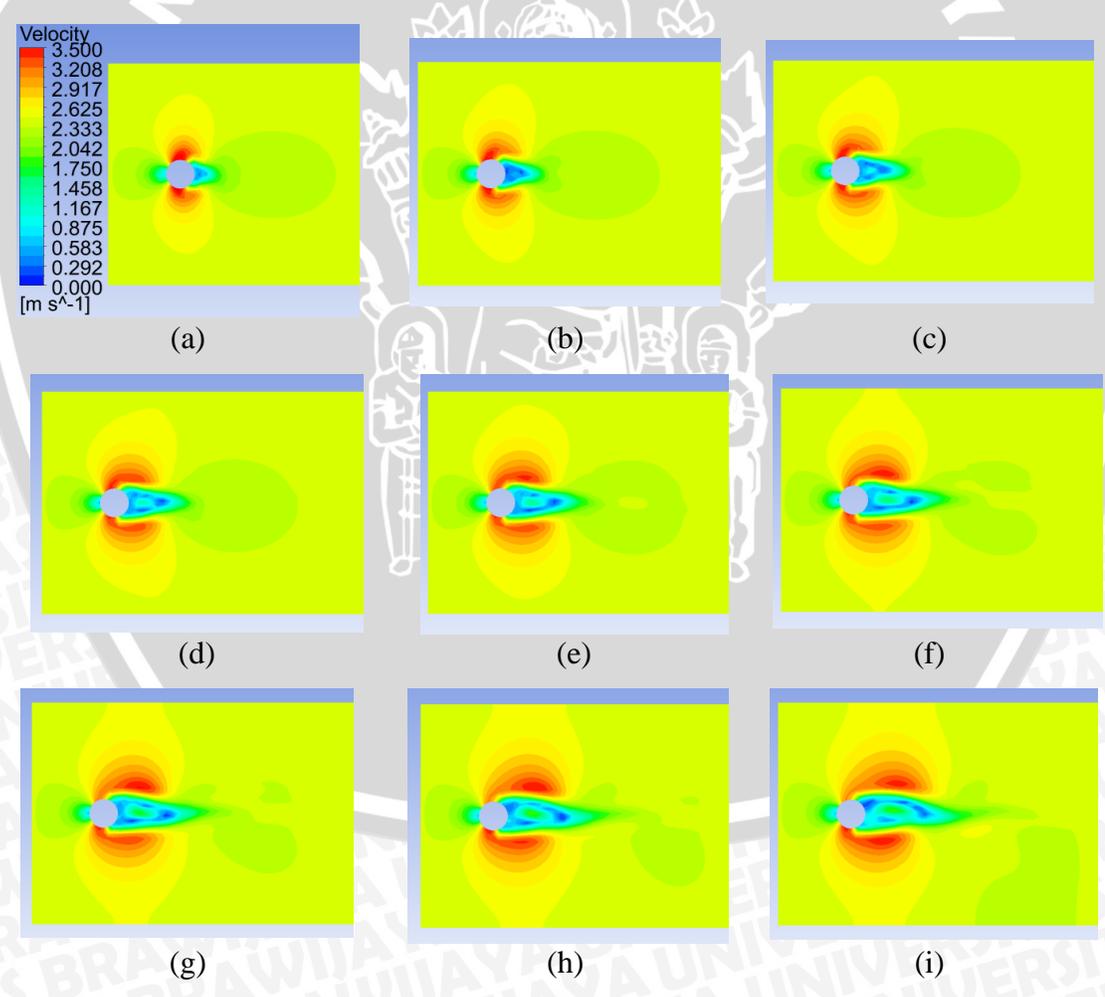
4.1.1 Data Hasil Pengujian Simulasi *Fluent* ANSYS

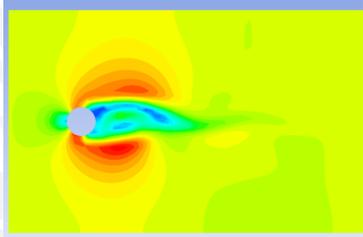
a. Penampang Distribusi Kecepatan Pada Tiap Titik Pengujian Pada Semua Variasi

(Terlampir)

b. Penampang Distribusi Kecepatan Arus Laut dalam Selang Waktu 1 detik pada Variasi Tanpa Aliran Fluida Dalam

Dari hasil pengujian simulasi menggunakan *Fluent* ANSYS diperoleh kontur kecepatan pada selang waktu tertentu pada Gambar 4.1 Penampang Distribusi Kecepatan Arus Laut pada Selang Waktu Tertentu.





(j)

Gambar 4.1 Penampang Distribusi Kecepatan Arus Laut pada Selang Waktu Tertentu, yaitu (a) $t=0.1s$, (b) $t=0.2s$, (c) $t=0.3s$, (d) $t=0.4s$, (e) $t=0.5s$, (f) $t=0.6s$, (g) $t=0.7s$, (h) $t=0.8s$, (i) $t=0.9s$, (j) $t=1s$.

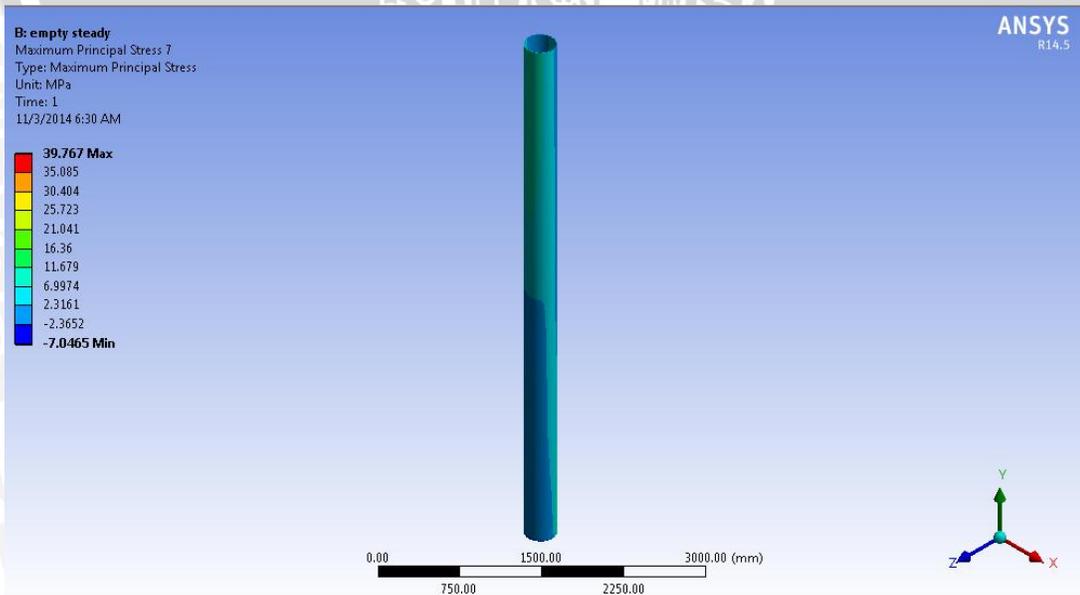
4.1.2 Data Hasil Pengujian *Static Structural* ANSYS

a. Data Distribusi Nilai Tegangan, Regangan, dan Deformasi pada Pipa *Riser*

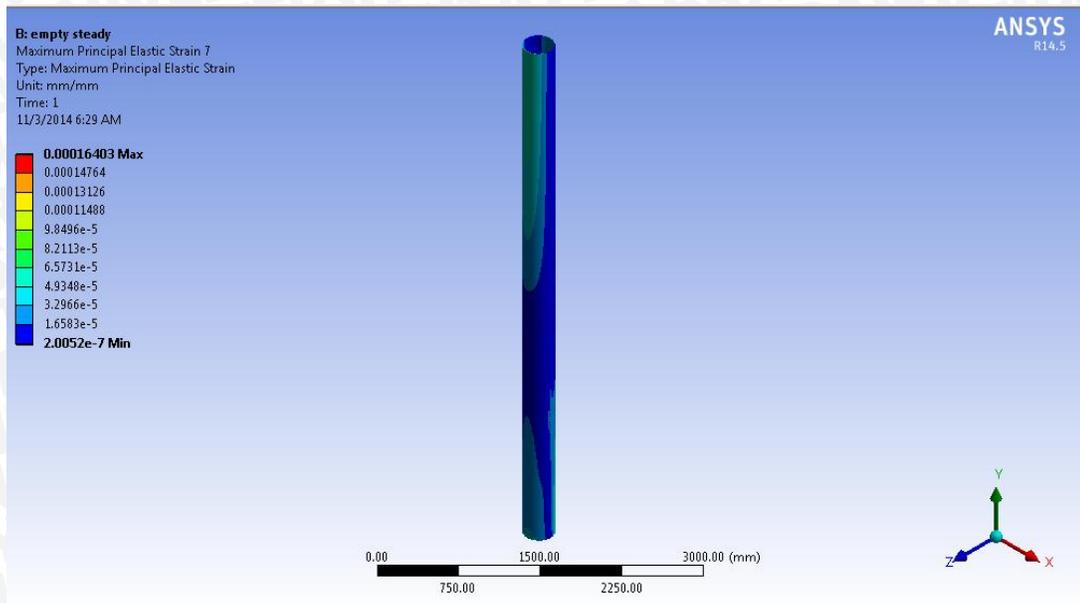
(Terlampir)

b. Distribusi Nilai Tegangan, Regangan, dan Deformasi pada Pipa *Riser* pada Variasi Tanpa Aliran Fluida Dalam

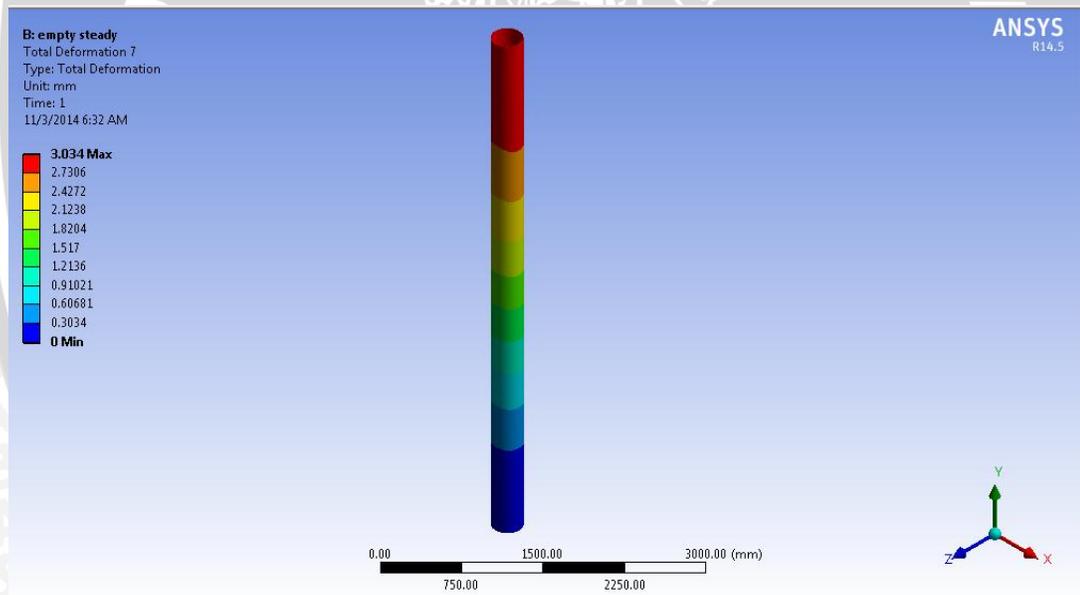
Dari hasil pengujian simulasi menggunakan *Static Structural* ANSYS diperoleh distribusi nilai tegangan, regangan, dan deformasi pada pipa *riser*. Dapat dilihat pada Gambar 4.2 untuk distribusi nilai regangan, Gambar 4.3 untuk distribusi nilai regangan, dan Gambar 4.4 untuk distribusi nilai deformasi pada pipa *riser*.



Gambar 4.2 Distribusi Nilai Tegangan Pipa *Riser* pada Variasi Tanpa Aliran Fluida Dalam



Gambar 4.3 Distribusi Nilai Regangan Pipa *Riser* pada Variasi Tanpa Aliran Fluida Dalam



Gambar 4.4 Distribusi Nilai Deformasi Pipa *Riser* pada Variasi Tanpa Aliran Fluida Dalam

4.1.3 Perhitungan Parameter Terjadinya VIV

Perhitungan untuk mengetahui terjadinya VIV, sebagai berikut :

1. Bilangan Strouhal

Pada tabel 4.1 regime aliran inkompresibel dapat diketahui untuk bilangan Reynold 7×10^5 berada pada daerah superkritikal dengan bilangan Strouhal pada interval 0.35-0.45.

Tabel 4.1 Regime Aliran *Incompressible*

	A Subcritical	B Critical	C Supercritical	D Post-supercritical
Boundary layer	laminar	transition	turbulent	turbulent
Separation	about 82 deg.	transition	120 - 130 deg.	about 120 deg.
Shear layer near separation	laminar		laminar separation, bubble, turbulent reattachment	turbulent
Strouhal number	$S = 0,212 - \frac{2,7}{Re}$	transition	0,35 - 0,45	about 0,29
Wake	Re < 60 laminar; 60 < Re < 5000 vortex street Re > 5000 turbulent	not periodic		
Approximate Re range	< 2×10^5	2×10^5 to 5×10^5	$5 \times 10^5 - 3 \times 10^6$	> 3×10^6

Sumber : Turgut Sarpakaya:1928

2. Frekuensi Pelepasan Vorteks

$$f_s = \frac{StU}{D} \tag{2-3}$$

$$f_s = \frac{0,35 \times 2,34 \text{ m/s}}{0,3048} = 2,68 \text{ Hz}$$

3. Kaugelan-Carpenter

$$K_c = \frac{UT}{D} \tag{2-4}$$

$$K_c = \frac{2,34 \text{ m/s} \times 1}{0,3048}$$

$$K_c = 7,67$$

4. Frekuensi Natural Riser

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{4-1}$$

Keterangan : ω_n = Frekuensi Natural (Hz)

k = Kekakuan Pipa

m = Massa (kg)

$$\omega_n = \sqrt{\frac{8.37 \times 10^{-7}}{47.78}}$$

$$= 1.32 \times 10^{-4} \text{ Hz}$$

Tabel 4.2 Frekuensi Natural Pipa Riser

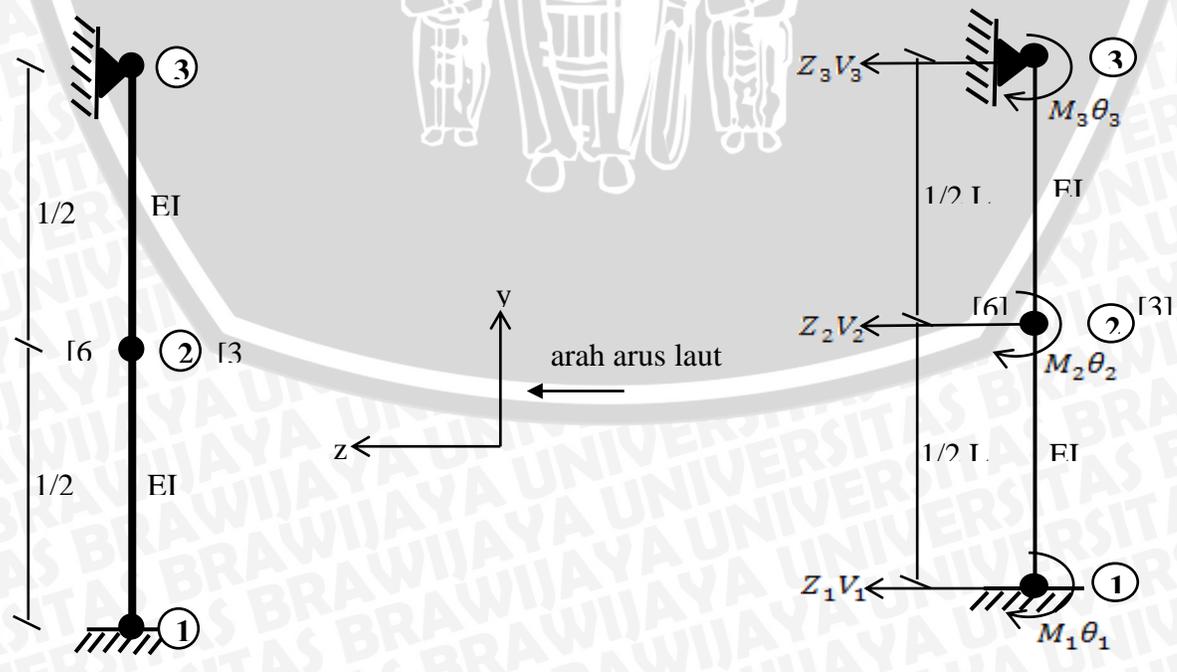
No.	Variasi	ω_n (Hz)
1	Methane 5.44 m/s	5.76×10^{-4}
2	Methane 10.88 m/s	1.32×10^{-4}
3	Methane 16.32 m/s	1.66×10^{-4}
4	Fuel-Oil Liquid 5.44 m/s	4.54×10^{-3}
5	Fuel-Oil Liquid 10.88 m/s	0.059
6	Fuel-Oil Liquid 16.32 m/s	0.074

Ditinjau berdasarkan perhitungan parameter frekuensi natural dan frekuensi pelepasan vorteks di atas dapat diketahui bahwa pada bilangan Reynold 7×10^5 nilai frekuensi pelepasan vorteks dan frekuensi natural pipa tidak sama, sehingga pelepasan vorteks yang terjadi tidak menimbulkan VIV, namun berdasarkan Kaugelan-Carpenter respon VIV yang terjadi adalah signifikan.

4.1.4 Perhitungan Metode Elemen Hingga

Pipa riser dianggap sebagai elemen garis

Diagram benda bebas



Berikut merupakan contoh perhitungan MEH pada variasi *methane* 10.88 m/s :

Diketahui :

$$D_1 = 12 \text{ inchi} = 12 \times 0.0254 \text{ m} = 0.3048 \text{ m}$$

$$D_2 = 11.5 \text{ inchi} = 11.5 \times 0.0254 \text{ m} = 0.2921 \text{ m}$$

$$L = 216 \text{ inchi} = 216 \times 0.0254 \text{ m} = 5.4864 \text{ m}$$

$$E = 2.0078 \times 10^{11} \text{ Pa} = 2.0078 \times 10^5 \text{ MPa} = 2.0078 \times 10^2 \text{ GPa}$$

$$\begin{aligned} I &= \frac{\pi}{64} (D_1^4 - D_0^4) \\ &= \frac{\pi}{64} (0.3048^4 - 0.2921^4) [\text{m}^4 - \text{m}^4] \\ &= 6.6286 \times 10^{-5} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Penyelesaian :

- Menghitung $[k]$ lokal masing-masing elemen, $[k]_1$ dan $[k]_2$

$$[k]_1 = \frac{EI}{\frac{1}{2}L} \begin{matrix} & \begin{matrix} v_1 & \theta_1 & v_2 & \theta_2 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} \frac{48}{L^2} & \frac{12}{L} & \frac{-48}{L^2} & \frac{12}{L} \\ & 4 & \frac{-12}{L} & 2 \\ \text{simetri} & & \frac{48}{L^2} & \frac{-12}{L} \\ & & & \frac{4}{4} \end{bmatrix} & \begin{matrix} v_1 \\ \theta_1 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{matrix} \end{matrix} \quad [k]_2 = \frac{EI}{\frac{1}{2}L} \begin{matrix} & \begin{matrix} v_2 & \theta_2 & v_3 & \theta_3 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} \frac{48}{L^2} & \frac{12}{L} & \frac{-48}{L^2} & \frac{12}{L} \\ & 4 & \frac{-12}{L} & 2 \\ \text{simetri} & & \frac{48}{L^2} & \frac{-12}{L} \\ & & & \frac{4}{4} \end{bmatrix} & \begin{matrix} v_2 \\ \theta_2 \\ v_3 \\ \theta_3 \end{matrix} \end{matrix}$$

- Assembly $[k]_1$ dan $[k]_2$ menjadi elemen kekakuan global $[k]_G$

$$[k]_G = \frac{2EI}{L} \begin{matrix} & \begin{matrix} v_1 & \theta_1 & v_2 & \theta_2 & v_3 & \theta_3 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} \frac{48}{L^2} & \frac{12}{L} & \frac{-48}{L^2} & \frac{12}{L} & 0 & 0 \\ & 4 & \frac{-6}{4L} & 2 & 0 & 0 \\ & & \frac{48}{L^2} + \frac{48}{L^2} & \frac{-12}{L} + \frac{12}{L} & \frac{-48}{L^2} & \frac{12}{L} \\ \text{simetri} & & & 4+4 & \frac{-12}{L} & 2 \\ & & & & \frac{48}{L^2} & \frac{-12}{L} \\ & & & & & \frac{4}{4} \end{bmatrix} & \begin{matrix} v_1 \\ \theta_1 \\ v_2 \\ \theta_2 \\ v_3 \\ \theta_3 \end{matrix} \end{matrix}$$

➤ Memasukkan harga pembebanan (Z) dan kondisi batas ($v_1 = \theta_1 = v_3 = \theta_2 = 0$).

Persamaan kesetimbangan $\{F\} = [K] \{d\}$ sehingga

$$\begin{bmatrix} Z_1 \\ M_1 \\ Z_2 \\ M_2 \\ Z_3 \\ M_3 \end{bmatrix} = \frac{2EI}{L} \begin{bmatrix} \frac{48}{L^2} & \frac{12}{L} & -\frac{48}{L^2} & \frac{12}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 4 & -\frac{6}{4L} & 2 & 0 & 0 \\ \frac{48}{L^2} + \frac{48}{L^2} & \frac{48}{L} + \frac{48}{L} & -\frac{12}{L} + \frac{12}{L} & -\frac{48}{L^2} & \frac{12}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 4 & -\frac{12}{L} & 2 \\ \frac{48}{L^2} & \frac{12}{L} & -\frac{48}{L^2} & \frac{12}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ \theta_1 \\ v_2 \\ \theta_2 \\ v_3 \\ \theta_3 \end{bmatrix}$$

simetri

$$\begin{bmatrix} Z_2 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{2EI}{L} \begin{bmatrix} \frac{96}{L^2} & \frac{12}{L} \\ \frac{12}{L} & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix}$$

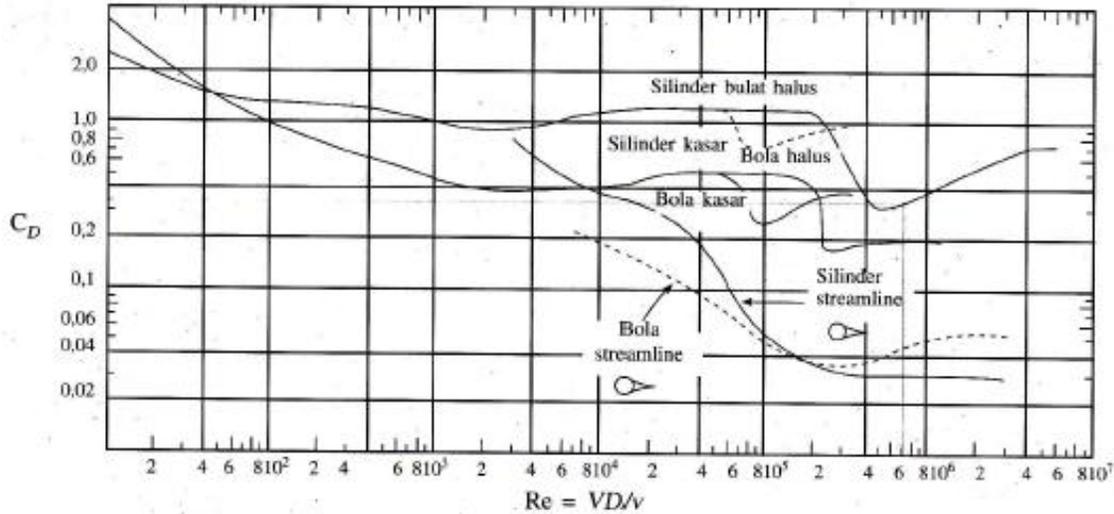
$$\begin{bmatrix} v_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix} = \frac{L^3}{464EI} \begin{bmatrix} 4 & -\frac{12}{L} \\ -\frac{12}{L} & \frac{96}{L^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} v_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{L^3 Z_2}{116EI} \\ -\frac{3L^2 Z_2}{116EI} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \sigma &= E\varepsilon \\ &= 200.78 \text{ GPa} \times 8.68\text{E-9} \\ &= 1742.77\text{E-9 GPa} = 1.742\text{E-3 MPa} \end{aligned}$$

4.1.5 Perhitungan Gaya Hambat Akibat Pembebanan Arus Laut

Berikut merupakan perhitungan gaya hambat akibat adanya pembebanan arus laut:



Gambar 4.5 Koefisien Gaya Hambat untuk Aliran disekitar Bola dan Silinder Panjang
 Sumber : Merle C. Potter (2011:123)

Tabel 4.3 Koefisien Gaya Hambat untuk Silinder Bulat dengan Panjang Terhingga (Finite)* dan Ujung Ujung Lepas**

L/D	$C_D/C_{D\infty}$
∞	1
40	0.82
20	0.76
10	0.68
5	0.62
3	0.62
2	0.57
1	0.53

Sumber : Merle C. Potter (2011:123)

Catatan : * adalah koefisien gaya hambat dari Gambar 4.7

** jika salah satuujung ditanamkan pada permukaan padat, panjang silinder menjadi 2 kali lipat

Diketahui : $\rho_{air laut} = 1045 \text{ kg/m}^3$

$V_{air laut} = 2.34 \text{ m/s}$

$D_1 \text{ pipa} = 12 \text{ inchi} = 12 \times 0.0254 \text{ m} = 0.3048 \text{ m}$

$L \text{ pipa} = 216 \text{ inchi} = 216 \times 0.0254 \text{ m} = 5.4864 \text{ m}$

Penyelesaian :

Interpolasi koefisien gaya hambat :

L/D		$C_D/C_{D\infty}$	
x	36	0.808	y
x_1	40	0.82	y_1
x_2	20	0.76	y_2

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1$$

$$y = \frac{0.76 - 0.82}{20 - 40} (36 - 40) + 0.82$$

$$y = 0.808$$

Perhitungan gaya hambat :

$$F_D = \frac{1}{2} \rho AV^2 C_D \quad (2-5)$$

$$F_D = \frac{1}{2} \times 1045 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \left(\frac{3.14}{4} \times 0.3048^2 \right) \text{m}^2 \times 2.34^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \times 0.808$$

$$F_D = 168.58 \text{ kgm/s}^2$$

4.1.6 Perhitungan Kekakuan Pipa Riser Akibat Aliran Fluida Dalam

Berikut merupakan perhitungan pertambahan nilai kekakuan pipa akibat tegangan geser dinding fluida mengalir di dalam pipa riser :

1. Bilangan Reynold fluida dalam pipa :

$$Re = \frac{V_s \rho L}{\mu} \text{ atau } Re = \frac{V_s L}{\nu} \quad (2-2)$$

2. Kekakuan batang :

$$k = \frac{F}{\Delta L} \quad (4-2)$$

Keterangan : k = Kekakuan batang (N/m)

F = Gaya (N)

ΔL = Panjang batang (m)

3. Persamaan tegangan :

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2-6)$$

Keterangan : σ = Tegangan (N/m²)

F = Gaya (N)

A = Luas Penampang Pipa (m²)

$$= \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_0^2)$$

$\pi = 3.14$

D_1 = Diameter luar pipa (m)

D_0 = Diameter dalam pipa (m)

4. Nilai tegangan geser dinding fluida mengalir dalam pipa :

$$\tau_0 = \frac{f}{8} \rho V^2 \quad (4-3)$$

Keterangan : τ_0 = Tegangan geser dinding (N/m²)

f = Faktor gesekan

ρ = Massa jenis fluida dalam (kg/m³)

V = Kecepatan fluida mengalir (m/s)

5. Faktor gesekan untuk aliran dengan $Re \leq 10^5$:

$$f = \frac{0.318}{Re^{0.25}} \quad (4-4)$$

Keterangan : f = Faktor gesekan

Re = Bilangan Reynold aliran fluida dalam pipa

Dengan menggabungkan persamaan (2-6) dan (4-3) maka akan diperoleh persamaan gaya yang diterima oleh pipa akibat adanya aliran fluida dalam, sebagai berikut :

$$\frac{F}{A} = \frac{f}{8} \rho V^2$$

$$F = \frac{f}{8} \rho V^2 A$$

$$F = \frac{f\rho V^2\pi}{32} (D_1^2 - D_0^2) \tag{4-5}$$

Dengan menggabungkan persamaan (4-5) dan (4-2) maka akan diperoleh persamaan hubungan pengaruh aliran fluida dalam terhadap nilai kekakuan pipa, sebagai berikut :

$$k = \frac{f\rho V^2\pi}{32L} (D_1^2 - D_0^2) \tag{4-6}$$

Hasil perhitungan bilangan Reynold fluida mengalir dalam pipa untuk fluida dalam *methane* kecepatan 5.44 m/s :

$$Re = \frac{V_s \rho L}{\mu}$$

$$Re = \frac{5.44 \text{ m/s} \times 0.6679 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 11.5 \text{ inch} \times 0.0254 \text{ m}}{1.087 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}}$$

$$Re = 97,636.53$$

Tabel 4.4 Bilangan Reynold Fluida Mengalir dalam Pipa

Kecepatan (m/s)	Re Fluida <i>Methane</i>	Re Fluida <i>Fuel-Oil Liquid</i>
5.44	97,636.53	31,780.48
10.88	195,273.07	63,560.96
16.32	292,909.6	95,341.44

Hasil perhitungan faktor gesekan fluida mengalir dalam pipa untuk fluida dalam *methane* kecepatan 5.44 m/s :

$$f = \frac{0.318}{Re^{0.25}}$$

$$f = \frac{0.318}{97,636.53^{0.25}}$$

$$f = 0.0179$$

Tabel 4.5 Faktor Gesekan Fluida Mengalir dalam Pipa

Kecepatan (m/s)	f Fluida <i>Methane</i>	f Fluida <i>Fuel-Oil Liquid</i>
5.44	0.01799	0.023817
10.88		0.020028
16.32		0.018097

Hasil perhitungan kekakuan pipa untuk fluida dalam *methane* kecepatan 5.44 m/s :

$$k = \frac{f\rho V^2\pi}{32L} (D_1^2 - D_0^2)$$

$$k = \frac{0.01799 \times 0.6679 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 5.44^2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 3.14}{32 \times 216 \text{ inch} \times 0.0254 \text{ m}} (0.3048^2 - 0.2921^2)$$

$$k = \frac{f\rho V^2\pi}{32L} (D_1^2 - D_0^2)$$

Tabel 4.6 Nilai Kekakuan Pipa

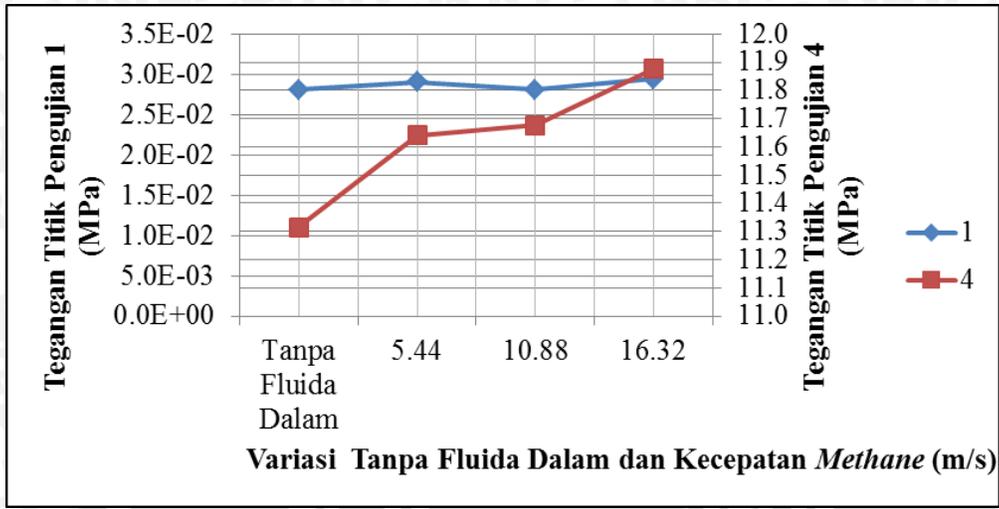
Kecepatan (m/s)	k Fluida <i>Methane</i>	k Fluida <i>Fuel-Oil Liquid</i>
5.44	1.535×10^{-5}	0.987×10^{-3}
10.88		0.116
16.32		0.262

Berdasarkan perhitungan tegangan geser dinding dan kekakuan di atas dapat diketahui bahwa fluida yang mengalir di dalam pipa memiliki nilai tegangan geser dinding terhadap dinding dalam pipa yang dapat menambah kekakuan pipa *riser*. Dimana semakin tinggi kecepatan dan semakin besar massa jenis fluida dalam, maka kekakuan pipa semakin bertambah.

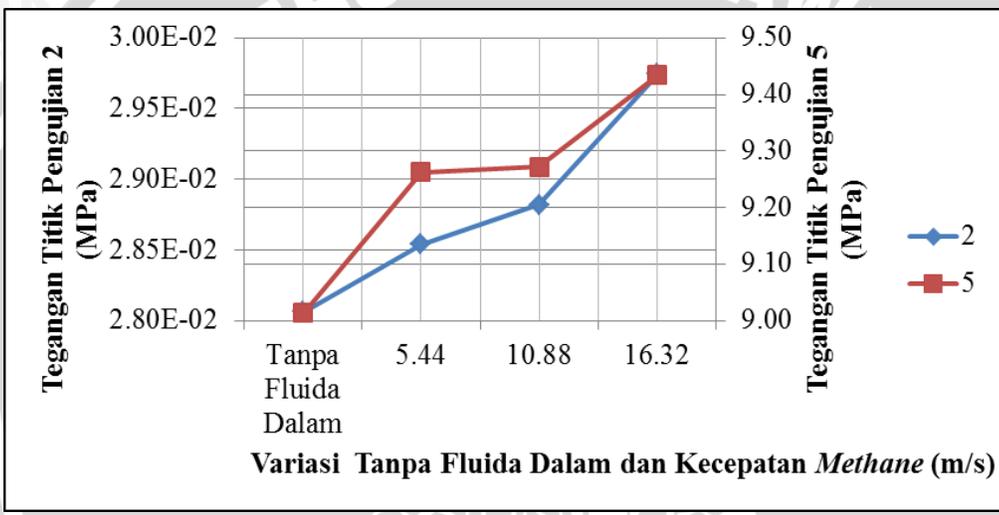
4.2 Pembahasan

4.2.1 Hubungan Kecepatan Fluida Dalam terhadap Tegangan Pada Pipa *Riser* di Tiap Titik Pengujian pada Semua Variasi

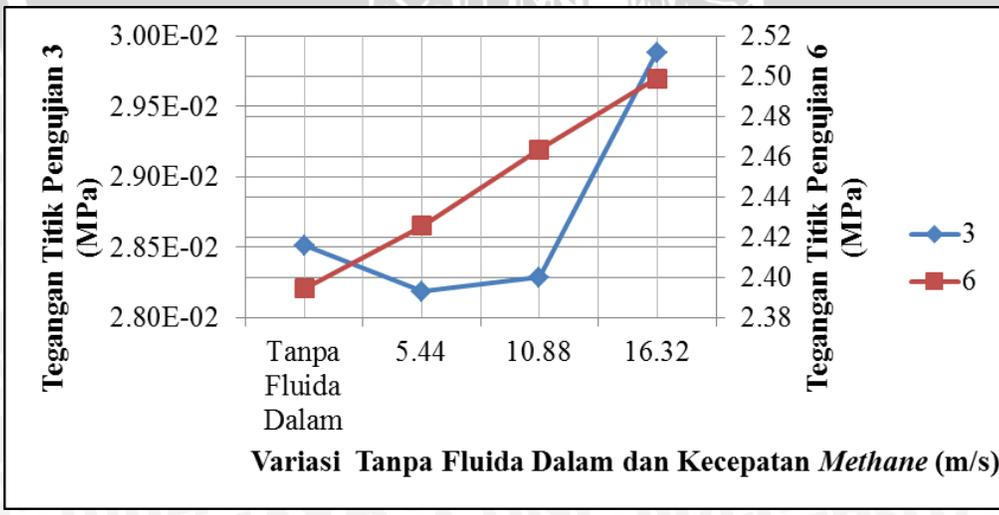
Dari hasil pengujian simulasi menggunakan *Static Structural ANSYS* diperoleh hubungan nilai tegangan pada pipa *riser* terhadap variasi jenis dan kecepatan aliran fluida dalam, yaitu pada Gambar 4.6 untuk hubungan variasi kecepatan aliran fluida dalam *methane* dan tanpa aliran fluida dalam terhadap tegangan pipa *riser* pada berbagai titik pengujian dan Gambar 4.7 untuk hubungan variasi kecepatan fluida dalam *fuel-oil liquid* terhadap tegangan pipa *riser* pada berbagai titik pengujian.



(a)

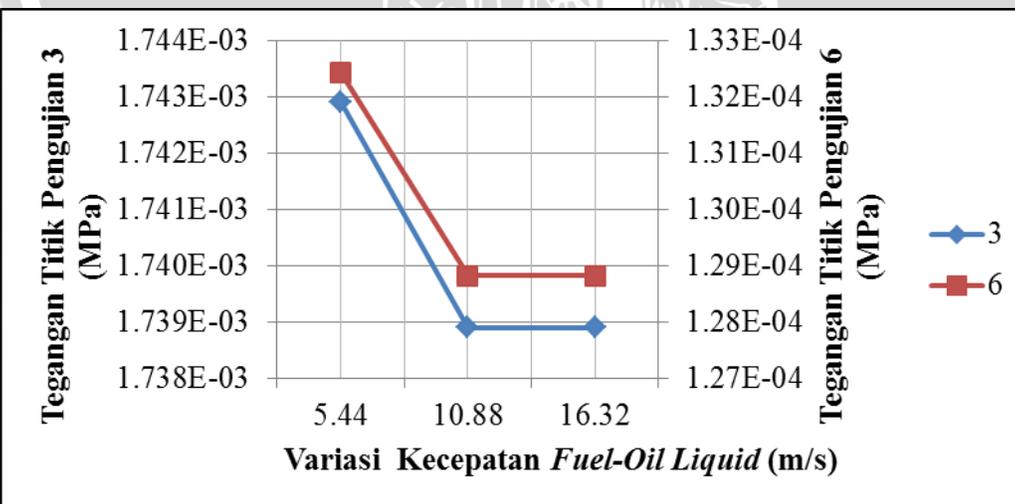
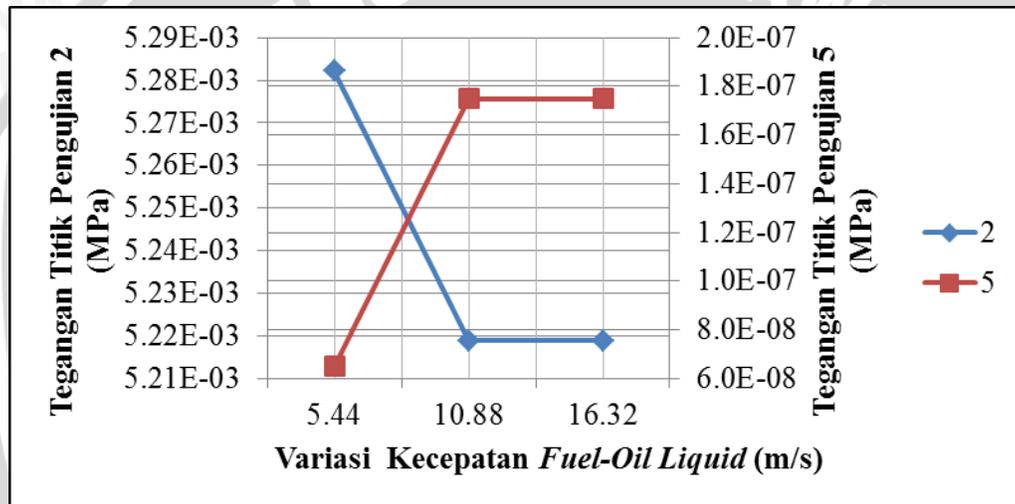
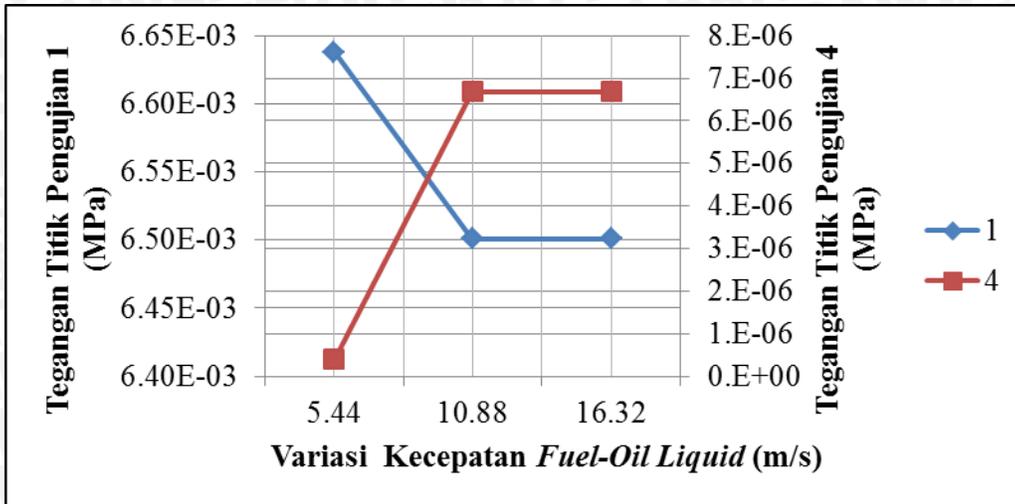


(b)



(c)

Gambar 4.6 Grafik Hubungan Tanpa Aliran Fluida Dalam dan Variasi Kecepatan Aliran Fluida Dalam *Methane* terhadap Tegangan Pipa *Riser* pada Berbagai Titik Pengujian, yaitu (a) tegangan pada titik pengujian 1 dan 4, (b) tegangan pada titik pengujian 2 dan 5, (c) tegangan pada titik pengujian 3 dan 6



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Variasi Kecepatan Aliran Fluida Dalam *Fuel-Oil Liquid* terhadap Tegangan Pipa *Riser* pada Berbagai Titik Pengujian, yaitu (a) tegangan pada titik pengujian 1 dan 4, (b) tegangan pada titik pengujian 2 dan 5, (c) tegangan pada titik pengujian 3 dan 6

Air laut mengalir memiliki kecepatan, posisi pipa riser yang berada di bawah permukaan air laut menghambat aliran air laut menimbulkan perbedaan kecepatan aliran air laut antara sisi pipa yang terkena aliran air laut secara langsung dan yang berada sisi berlawanan pipa riser yang tidak terkena aliran air laut secara langsung. Perbedaan kecepatan ini menimbulkan perbedaan tekanan sehingga terjadi vorteks pada sisi lawan pipa riser yang tidak terkena arus laut secara langsung. Air laut yang mengalir memiliki massa dan kecepatan, sehingga ketika mengenai (menumbuk) pipa riser air laut memiliki momentum. Perubahan momentum air laut menimbulkan perubahan implus air laut. Implus merupakan perkalian gaya pada selang waktu tertentu. Semakin besar perubahan kecepatan aliran air laut yang mengenai pipa riser pada selang waktu tertentu, semakin besar nilai momentumnya, momentum berbanding lurus dengan implus, semakin besar nilai implus yang dihasilkan maka gaya yang dihasilkan sebagai pembebanan terhadap dinding pipa riser semakin besar, tegangan bending yang diterima pipa pun semakin besar.

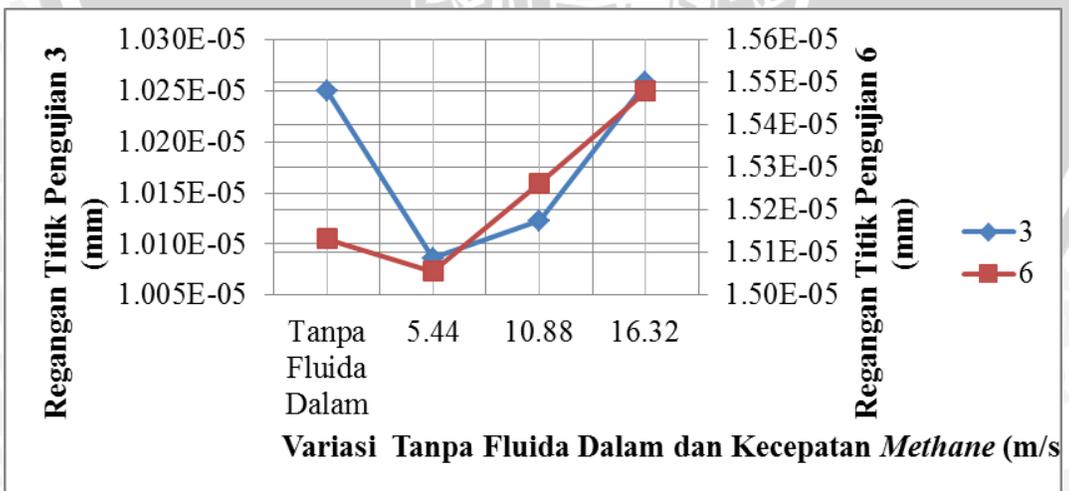
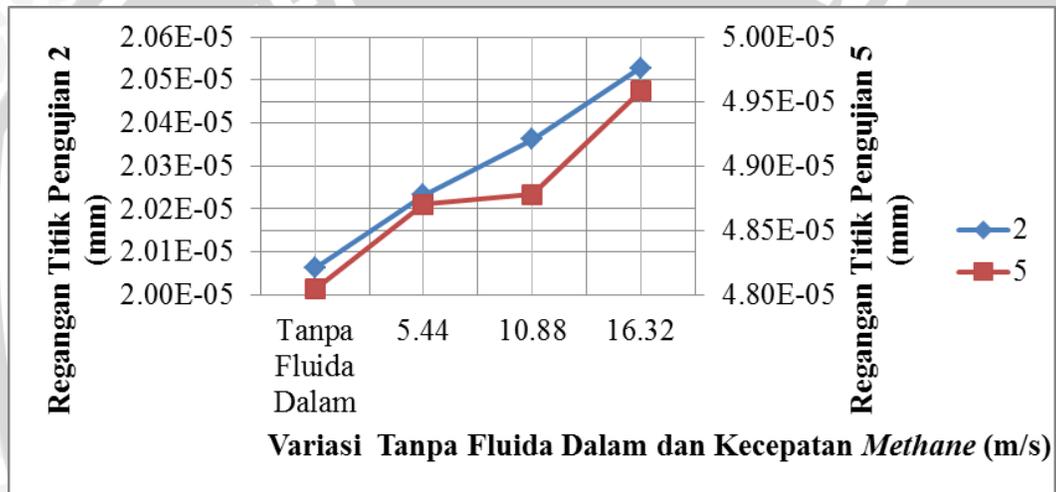
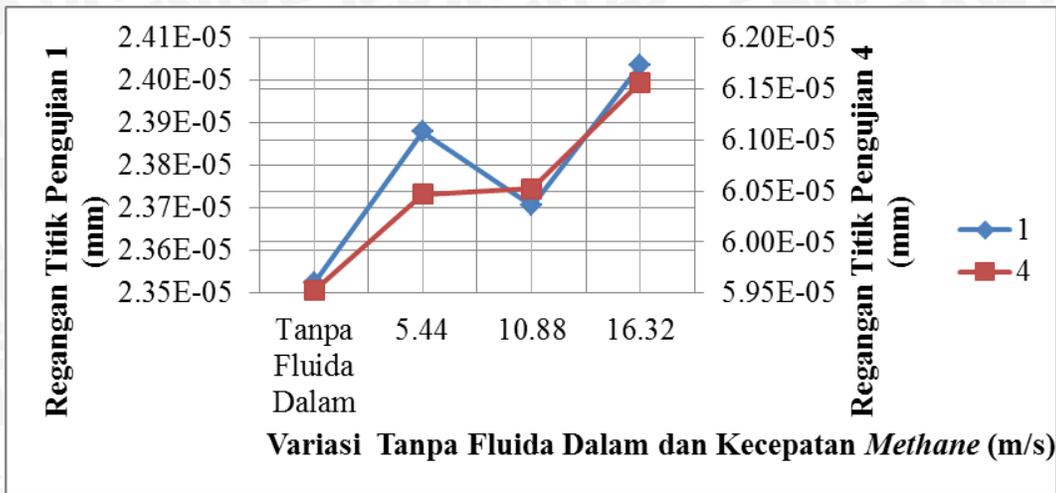
Pengambilan data dilakukan pada pada dinding luar pipa *riser* dengan 6 titik pengujian yang berbeda, yaitu titik pengujian 1,2,3 tegak lurus terhadap datangnya pembebanan arus laut secara langsung dan titik pengujian 4,5,6 pada sisi berlawanan yang menerima respon pelepasan vorteks. Pada Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa titik pengujian 1,2,3 untuk variasi tanpa aliran fluida dalam dan jenis fluida dalam *methane* pada semua variasi kecepatan memiliki nilai tegangan lebih besar daripada titik pengujian 4,5,6. Sedangkan pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa titik pengujian 4,5,6 variasi jenis fluida dalam *fuel-oil liquid* pada semua variasi kecepatan memiliki nilai tegangan lebih besar daripada titik pengujian 1,2,3. Viskositas merupakan kemampuan suatu fluida untuk bergerak pada suatu luasan persatuan waktu, sehingga berpengaruh pada tegangan geser antara fluida dengan dinding pipa bagian dalam, semakin besar nilai viskositas suatu fluida maka akan semakin besar pula gaya yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida tersebut. Massa jenis berpengaruh pada kemampuan suatu fluida untuk mempertahankan bentuknya terhadap suatu tegangan atau tekanan, semakin besar massa jenis suatu fluida maka akan semakin besar nilai *bulk modulus*-nya. Viskositas dan massa jenis fluida *methane* dan udara lebih kecil daripada fluida *fuel-oil liquid*, oleh karena itu pada Gambar 4.6 titik pengujian 4,5,6 pada pipa *riser* tanpa aliran fluida dalam dan dengan aliran fluida dalam *methane* memiliki nilai tegangan yang lebih besar daripada titik pengujian 1,2,3. Hal ini disebabkan

fluida *methane* dan udara memiliki tegangan permukaan yang rendah terhadap dinding pipa riser dan nilai *bulk modulus* yang rendah untuk mempertahankan posisi dan bentuk fluida *methane* itu sendiri ataupun pipa riser terhadap tekanan akibat respon pelepasan vorteks yang terjadi. Massa jenis fluida *fuel-oil liquid* membuat fluida mampu mempertahankan bentuknya dan viskositas fluida *fuel-oil liquid* menambahkan kekakuan pipa akibat tegangan geser yang ditimbulkan antara fluida dan dinding dalam pipa riser, sehingga pada Gambar 4.7 dapat diketahui pada titik pengujian 4,5,6 akibat respon pelepasan vorteks memiliki nilai tegangan yang lebih rendah daripada titik pengujian 1,2,3.

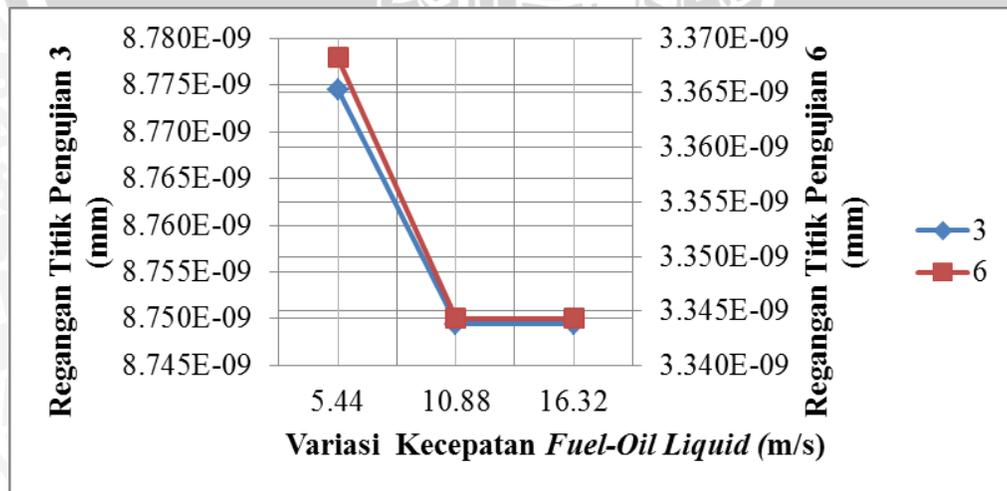
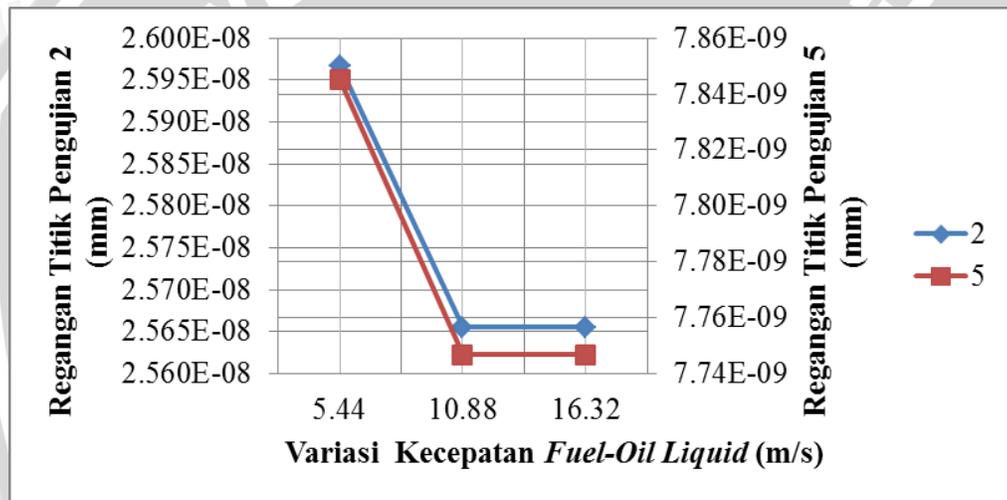
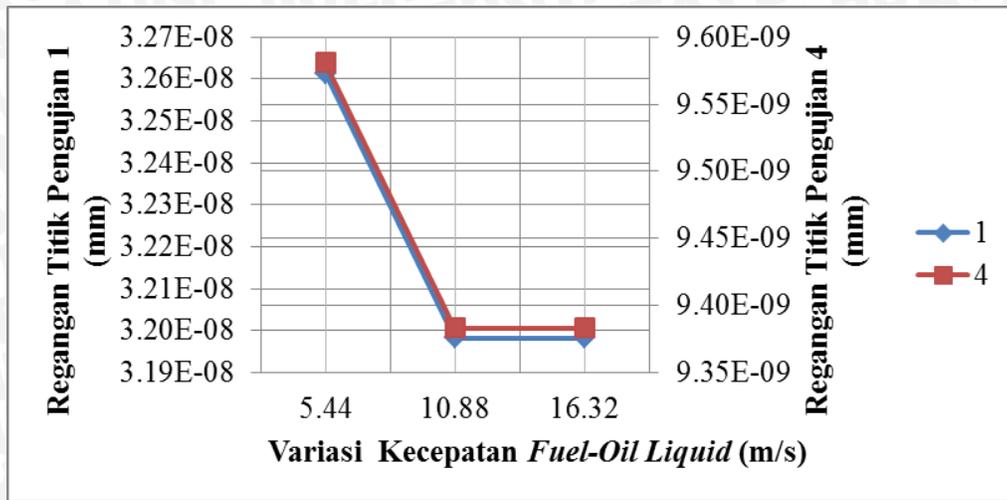
Pada jenis fluida yang sama semakin bertambah kecepatan aliran fluida dalam pipa riser, maka akan memiliki kecenderungan semakin besar nilai tegangannya. Pada Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya kecepatan aliran fluida dalam *methane*, semakin besar pula tegangan pada dinding pipa riser, setelah itu diikuti dengan nilai tegangan tanpa aliran fluida dalam. Hal ini disebabkan viskositas *methane* yang lebih rendah daripada viskositas udara, sehingga *methane* memiliki kemampuan mengalir yang lebih tinggi daripada fluida udara. Pada Gambar 4.7 dapat dilihat semakin tinggi kecepatan aliran fluida dalam *fuel-oil liquid*, semakin besar pula tegangan pada dinding pipa riser. Namun pada aliran fluida dalam *fuel-oil liquid* variasi kecepatan 10.88 m/s dan 16.32 m/s memiliki nilai tegangan yang sama besarnya. Hal ini disebabkan viskositas dan massa jenis fluida *fuel-oil liquid* yang besar, sehingga dengan selisih kecepatan antara 10.88 m/s dan 16.32 m/s tidak memberikan perbedaan yang signifikan. Mengacu pada Gambar 4.6 dan 4.7 maka urutan nilai tegangan dari yang terkecil ke yang terbesar pada semua variasi adalah aliran fluida dalam *fuel-oil liquid* 16.32 m/s, *fuel-oil liquid* 16.32 m/s, *fuel-oil liquid* 5.44 m/s, tanpa aliran fluida dalam, *methane* 5.44 m/s, *methane* 10.88 m/s, dan *methane* 16.32 m/s.

4.2.2 Hubungan Kecepatan Fluida Dalam terhadap Regangan Pada Pipa Riser di Tiap Titik Pengujian pada Semua Variasi

Dari hasil pengujian simulasi menggunakan *Static Structural* ANSYS diperoleh hubungan nilai regangan pada pipa riser terhadap variasi jenis dan kecepatan aliran fluida dalam, yaitu pada Gambar 4.8 untuk hubungan variasi kecepatan aliran fluida dalam *methane* dan tanpa aliran fluida dalam terhadap regangan pipa riser pada berbagai titik pengujian dan Gambar 4.9 untuk hubungan variasi kecepatan fluida dalam *fuel-oil liquid* terhadap regangan pipa riser pada berbagai titik pengujian.



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Tanpa Aliran Fluida Dalam dan Variasi Kecepatan Aliran Fluida Dalam Methane Terhadap Regangan Pipa Riser pada Berbagai Titik Pengujian, yaitu (a) regangan pada titik pengujian 1 dan 4, (b) regangan pada titik pengujian 2 dan 5, (c) regangan pada titik pengujian 3 dan 6



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Variasi Kecepatan Aliran Fluida Dalam Fuel-Oil Liquid Terhadap Regangan Pipa Riser pada Berbagai Titik Pengujian, yaitu (a) regangan pada titik pengujian 1 dan 4, (b) regangan pada titik pengujian 2 dan 5, (c) regangan pada titik pengujian 3 dan 6

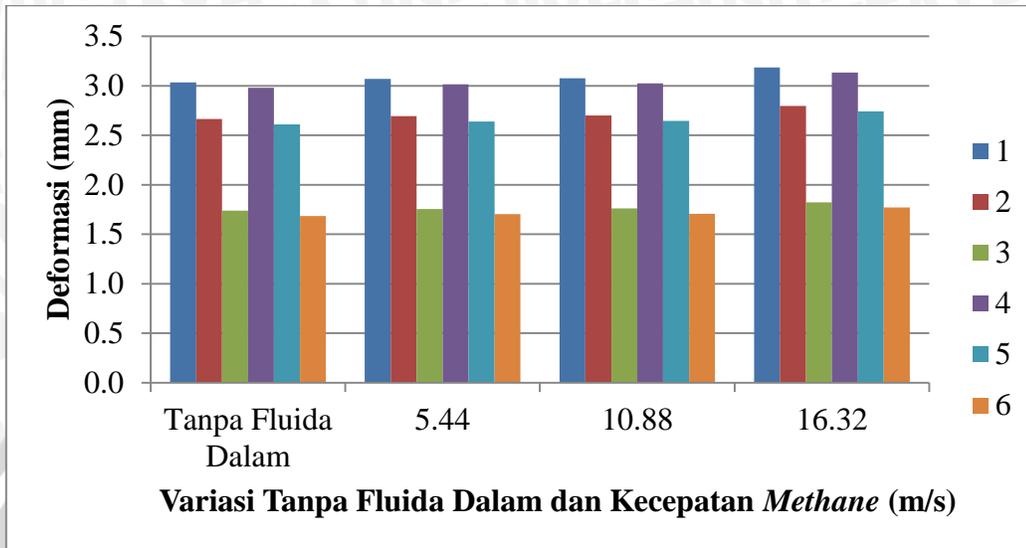
Pada Gambar 4.8 dapat dilihat pada variasi jenis aliran fluida dalam *methane*, terdapat kecenderungan semakin bertambah kecepatan aliran fluida dalam pipa *riser*, semakin besar nilai tegangannya, dan semakin besar nilai regangan, kemudian diikuti dengan variasi tanpa aliran fluida dalam. Hal ini disebabkan massa jenis fluida *methane* yang lebih rendah daripada viskositas udara, sehingga fluida *methane* memiliki kemampuan mempertahankan bentuknya lebih rendah daripada fluida udara dan pipa *riser* mengalami regangan yang lebih besar. Pada Gambar 4.8 (a) terdapat kecenderungan yang berbeda, yaitu pada aliran fluida dalam *methane* 10.88 m/s dimana nilai regangannya mengalami penurunan. Hal ini disebabkan titik 1 dan 4 berada di dekat tumpuan, sehingga pipa tidak sepenuhnya ikut bergerak akibat pembebanan arus laut dan respon pelepasan vorteks. Pada Gambar 4.8 (c) terdapat kecenderungan yang berbeda, yaitu pada variasi tanpa aliran fluida dalam memiliki nilai regangan lebih besar daripada variasi aliran fluida dalam *methane*. Hal ini disebabkan pada titik pengujian 3 dan 6 berada di bagian tengah pipa *riser*, sehingga tidak terdapat tumpuan yang menopang pipa terhadap tegangan akibat respon pelepasan vorteks. Pada Gambar 4.9 dapat dilihat semakin tinggi kecepatan aliran fluida dalam *fuel-oil liquid*, semakin kecil pula nilai deformasi pada dinding pipa *riser*. Namun pada aliran fluida dalam *fuel-oil liquid* variasi kecepatan 10.88 m/s dan 16.32 m/s memiliki nilai deformasi yang sama besarnya. Hal ini disebabkan viskositas dan massa jenis fluida *fuel-oil liquid* yang besar, sehingga dengan selisih kecepatan antara 10.88 m/s dan 16.32 m/s tidak memberikan perbedaan yang signifikan

Mengacu pada Gambar 4.8 dan 4.9 maka urutan nilai regangan dari yang terkecil ke yang terbesar pada semua variasi adalah aliran fluida dalam *fuel-oil liquid* 16.32 m/s, *fuel-oil liquid* 16.32 m/s, *fuel-oil liquid* 5.44 m/s, tanpa aliran fluida dalam, *methane* 5.44 m/s, *methane* 10.88 m/s, dan *methane* 16.32 m/s.

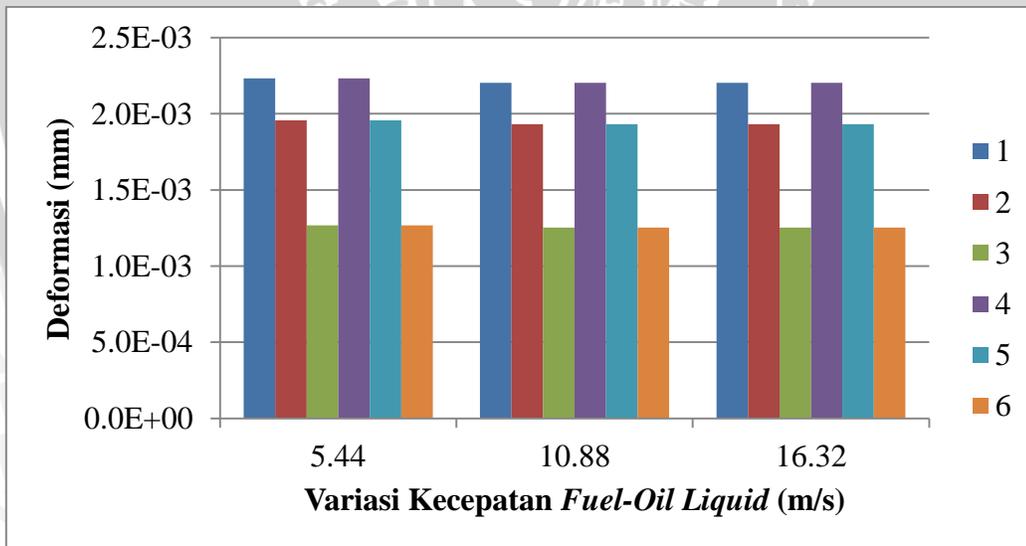
4.2.3 Hubungan Kecepatan Fluida Dalam terhadap Deformasi Pada Pipa *Riser* di Tiap Titik Pengujian pada Semua Variasi

Dari hasil pengujian simulasi menggunakan *Static Structural* ANSYS diperoleh hubungan nilai deformasi pada pipa *riser* terhadap variasi jenis dan kecepatan aliran fluida dalam, yaitu pada Gambar 4.10 untuk hubungan variasi kecepatan aliran fluida dalam *methane* dan tanpa aliran fluida dalam terhadap deformasi pipa *riser* pada berbagai titik

pengujian dan Gambar 4.11 untuk hubungan variasi kecepatan fluida dalam *fuel-oil liquid* terhadap regangan pipa *riser* pada berbagai titik pengujian.



Gambar 4.10 Histogram Hubungan Tanpa Aliran Fluida Dalam dan Variasi Kecepatan Fluida Dalam *Methane* Pipa *Riser* Terhadap Deformasi pada Berbagai Titik Pengujian



Gambar 4.11 Histogram Hubungan Variasi Kecepatan Fluida Dalam *Fuel-Oil Liquid* Pipa *Riser* Terhadap Deformasi pada Berbagai Titik Pengujian

Pada Gambar 4.10 dapat dilihat pada variasi jenis aliran fluida dalam *methane*, terdapat kecenderungan semakin bertambah kecepatan aliran fluida dalam pipa *riser*, semakin besar nilai deformasinya, kemudian diikuti dengan variasi tanpa aliran fluida

dalam. Hal ini disebabkan viskositas dan massa jenis fluida *methane* yang lebih rendah daripada viskositas udara, sehingga fluida *methane* memiliki kemampuan mempertahankan bentuknya lebih rendah daripada fluida udara dan pipa *riser* apabila dikenai tegangan dan mengalami deformasi yang lebih besar. Pada Gambar 4.11 dapat dilihat semakin tinggi kecepatan aliran fluida dalam *fuel-oil liquid*, semakin kecil pula nilai deformasi pada dinding pipa *riser*. Hal ini disebabkan tegangan yang diterima pipa *riser* juga semakin kecil terhadap pertambahan kecepatan. Namun pada aliran fluida dalam *fuel-oil liquid* variasi kecepatan 10.88 m/s dan 16.32 m/s memiliki nilai deformasi yang sama besarnya. Hal ini disebabkan viskositas dan massa jenis fluida *fuel-oil liquid* yang besar, sehingga dengan selisih kecepatan antara 10.88 m/s dan 16.32 m/s tidak memberikan perbedaan yang signifikan

Mengacu pada Gambar 4.10 dan 4.11 maka urutan nilai deformasi dari yang terkecil ke yang terbesar pada semua variasi adalah aliran fluida dalam *fuel-oil liquid* 16.32 m/s, *fuel-oil liquid* 10.88 m/s, *fuel-oil liquid* 5.44 m/s, tanpa aliran fluida dalam, aliran fluida dalam *methane* 5.44 m/s, *methane* 10.88 m/s, dan *methane* 16.32 m/s.

