

# Analisis Panjang *Span* Maksimum yang Diizinkan Akibat *Vortex Shedding* pada *Riser* KLB *Platform*

Rizka Fajri Hamzah, Rudi Walujo Prastianto dan Daniel Mohammad Rosyid  
Departemen Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail*: rudiwp@oe.its.ac.id

**Abstrak**—Sistem pipa bawah laut/*riser* yang dipasang pada kedalaman tertentu di laut berkemungkinan mengalami kegagalan akibat beban hidrodinamik seperti gelombang dan arus, salah satunya dapat menyebabkan terjadinya *Vortex Induced Vibration* (VIV). Jika hal ini tidak dianalisis dalam tahap desain pipa/*riser* yang memiliki bentangan bebas (*free span*) maka sistem pipa tersebut dapat mengalami kegagalan. Dalam penelitian ini dilakukan analisis *Maximum Allowable Free Span Length* (MAFSL) pada *riser* KLB *platform* yang berlokasi di lepas pantai Jawa Barat sebelah utara sekitar 80-200 km timur laut Jakarta. KLB *platform* merupakan salah satu dari lima *platform* yang direncanakan oleh Pertamina Hulu Energi *Offshore Northwest Java* (PHE ONWJ) untuk dilakukan penggantian dan pemasangan jaringan pipa yang baru. Analisis MAFSL pada *riser* KLB *platform* yang memiliki ukuran diameter luar 323,9 mm dan panjang 1 km ini dilakukan dengan bantuan *software* MathCAD, serta berdasar *code* dan *standard* DNV RP C205 dan DNV 1981. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa panjang *span* dari titik *clamp elevation* 0,610 m ke -7,620 m yaitu 8,23 m masih aman karena nilainya tidak melebihi MAFSL yaitu 16,042 m dan dari titik *clamp elevation* -7,620 m ke -15,00m panjang *span* juga masih aman yaitu 7,38m karena tidak melebihi MAFSL yaitu 21,517 m.

**Kata Kunci**—*Vortex Induced Vibration* (VIV), *Free Span*, *In-line VIV*, *Cross-flow VIV*, *Riser*, *Maximum Allowable Free Span Length*

## I. PENDAHULUAN

JALUR pipa bawah laut merupakan salah satu infrastruktur transportasi jarak jauh untuk pemindahan produksi minyak dan gas baik yang berasal dari eksplorasi darat, daerah dekat pantai maupun laut dalam dengan metode yang efektif dan efisien. Kondisi *free span* (bentangan bebas) pada sebagian segmen jaringan pipa bawah laut tersebut biasanya tidak bisa dihindari. Akibatnya pengaruh dari VIV (*Vortex Induced Vibration*) dapat memberikan dampak yang cukup besar terhadap kekuatan dan umur lelah pipa tersebut. Oleh sebab itu, dalam desain jalur pipa perhitungan terkait panjang *span* maksimum yang diizinkan pada saat terjadi VIV dengan mengetahui dua *respons* yaitu *In-line* VIV dan *Onset cross-flow* VIV perlu lebih diperhatikan untuk mendapat panjang maksimal *span* yang diijinkan. Untuk itu panjang *span* desain harus kurang dari nilai tersebut agar pipa menjadi aman dari getaran berlebih.

Kondisi *free span* biasa terjadi pada pipa bawah laut yang dipasang di dasar laut. Aliran air yang semula terdistribusi merata akan terganggu oleh keberadaan pipa, sehingga menyebabkan percepatan aliran lokal di sekitarnya terhalang, yang mengakibatkan terjadi lubang gerusan di bawah pipa. Ketika lubang gerusan makin besar, dan bentang bebas pipa menjadi lebih panjang dari *Maximum Allowable Free Span Length* (MAFSL), maka pada pipa dapat terjadi *Vortex Induced Vibrations* (VIV) akibat hampasan arus dan gelombang. Dengan demikian, penentuan MAFSL dalam

berbagai kondisi menjadi sangat penting dalam merancang jaringan pipa baru maupun untuk mengatasi masalah pipa yang sudah ada [1]. Hal ini diatur dalam *code* dan *standard* misalnya dari DNV 1981 dan DNV RP C205.

Analisis pengaruh *free span* pipa pada VIV dapat dimaksudkan juga untuk mengetahui *respons* dinamis yang terjadi yang selanjutnya dapat menghitung tegangan pada pipa dan mengkaji keandalan dari pipeline akibat VIV. Hasilnya akan dicek dengan *code* DNV sehingga dapat diterima dan aman untuk desain *free span* pipa tersebut.

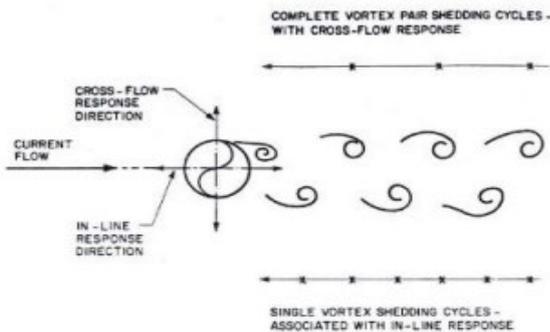
Aliran air yang tegak lurus *pipe span* dapat membentuk *vortex* di belakang pipa. *Vortex* muncul disebabkan oleh *turbulence* dan ketidakstabilan di belakang pipa [2]. Selanjutnya pelepasan vorteks (*vortex shedding*) dapat menyebabkan perubahan tekanan hidrodinamik secara berkala di sekitar pipa sehingga menyebabkan pipa bergetar. Frekuensi dari *vortex shedding* bergantung pada diameter pipa dan kecepatan aliran air di sekitarnya. Jika frekuensi *vortex shedding* atau yang dikenal dengan frekuensi *Strouhal* berdekatan dengan frekuensi natural dari pipa maka akan terjadi resonansi yang menyebabkan terjadinya getaran besar. Sudah banyak terjadi kerusakan pipa bawah laut yang diakibatkan oleh getaran yang disebabkan oleh fenomena VIV. Ilustrasi *Vortex Induced Vibration* ditunjukkan pada Gambar 1.

VIV akibat pengaruh arus dan gelombang dapat terjadi dalam dua arah *respons* yaitu *In-line* dan *Cross-flow*. Getaran yang diakibatkan oleh VIV arah *In-line* dan *Cross-flow* masing-masing berbeda. Untuk mengetahui nilai MAFSL perlu diketahui nilai dari *critical span length* pada dua arah getaran akibat VIV tersebut. Ilustrasi vibrasi yang terjadi pada arah *In-line* dan *Cross-flow* pada *pipeline* dan/atau *riser* dapat dilihat pada Gambar 2.

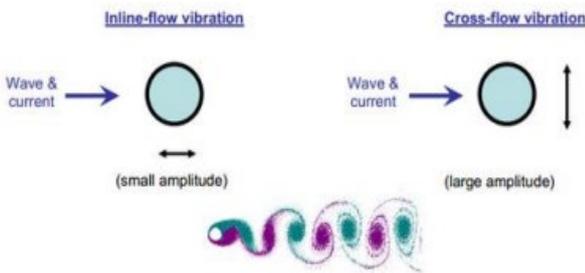
Jika pipa mengalami kerusakan akibat VIV, jalur pipa tersebut harus diganti agar produksi tetap terus berjalan. Agar pipa tidak mengalami kerusakan akibat VIV, maka harus dilakukan perawatan dan pengecekan secara berkala terhadap panjang *span* yang terjadi agar tidak melebihi *Maximum Allowable Free Span Length* (MAFSL) sehingga pipa tetap aman sesuai dengan *design life* yang direncanakan.

Mayoritas getaran yang signifikan lebih banyak terjadi pada arah *cross-flow*. Secara umum getaran yang terjadi pada arah *In-line* tidak memberikan getaran yang berarti (amplitude kecil) pada pipa. Getaran akibat *vortex* dapat dihindari jika nilai frekuensi natural dan frekuensi *vortex* berjauhan. Nilai frekuensi natural pada pipa bergantung pada kekakuan pipa, kondisi ujung pipa, panjang *span*, dan *added mass* pipa. Gambar 2 adalah ilustrasi vibrasi yang terjadi pada arah *Cross-flow* dan *In-line* berdasarkan [2].

Analisis *free span* pada jaringan pipa bawah laut terhadap *Vortex Induced Vibrations* (VIV) sangat diperlukan, terutama ketika akan mendesain jaringan pipa baru. Hal ini juga



Gambar 2. Ilustrasi *Vortex Induced Vibration*.



Gambar 3. Ilustrasi vibrasi arah *In-line* dan *Cross-flow*.

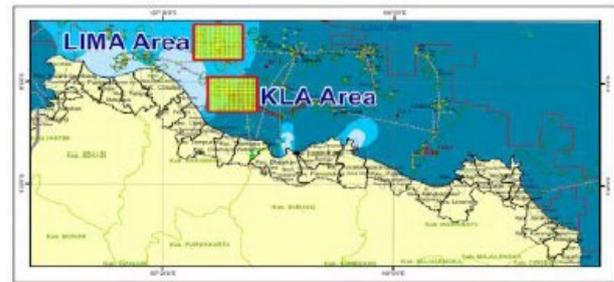
berlaku pada saat mendesain *riser* yang terhubung ke suatu *platform* yang mengalirkan produk dari anjungan menuju daratan. Lokasi proyek perbaikan atau pergantian *pipeline* pada KLA Area dapat ditunjukkan pada Gambar 3.

Analisis pada penelitian ini akan mengacu pada *code* dan *standard* dari ASME B31.8 dan DNV RP C205. Karena hanya berfokus pada *riser* di KLB *platform*, penelitian ini menetapkan beberapa batasan masalah yang nantinya dipergunakan sebagai panduan dalam melakukan perhitungan. Dimana diantaranya adalah *riser* yang digunakan dalam perhitungan adalah berukuran 12” NPS dengan *outside diameter* 323,9mm pada *platform* KLB. *Riser* juga didesain dengan *design life* 20 tahun, pada kondisi operasi. Pada *Riser* juga ditentukan 3 titik *clamp elevation* yaitu 0,610mm, -7,620 mm, -15,000 mm (lihat Gambar 4). Perhitungan terkait arus dan gelombang menggunakan teori *Linear/Airy, Irregular/Wave Spectrum* dan *1/7<sup>th</sup> Power Law, Current Profile* untuk perhitungan arus. Gambar 4 adalah gambaran jalur pipa yang menghubungkan *riser* pada KLB *platform* dan *riser* pada KLA *platform*, dimana pada penelitian ini akan berfokus pada *riser* di KLB *platform*. Jika dilihat dari posisi *riser* pada KLB *platform*, maka yang dimaksud VIV arah *In-line* adalah yang sejajar dengan bidang gambar, sedangkan getaran arah *Cross-flow* adalah yang tegak lurus dengan bidang gambar. Batas area perbaikan jalur pipa yaitu *platform* KLB dan KLA, dimana yang juga menjadi fokus penelitian ini adalah pada *riser* yang menempel pada *platform* KLB dapat ditunjukkan pada Gambar 4. *Riser* tersebut menghubungkan *carbon steel pipe* pada *platform* KLB dengan jalur *carbon steel pipe* menuju *platform* KLA seperti yang bisa dilihat pada Gambar 4 yang dilingkari warna merah.

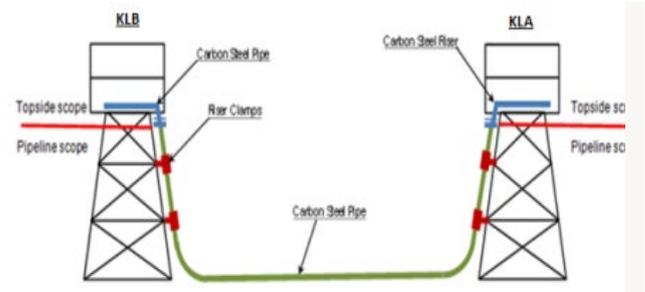
## II. URAIAN PENELITIAN

### A. Langkah Penelitian

Data yang dibutuhkan pada penelitian ini berupa *Riser Parameters* dan *Environmental Data*, kedua data utama ini



Gambar 3. Lokasi proyek perbaikan/pergantian *pipeline* pada KLA Area.



Gambar 1. Batas area untuk 12” MOL KLB to KLA Platform

akan ditelaah masing-masing. Untuk *Riser parameters* harus didapat terlebih dahulu nilai dari *outer diameter, wall thickness, density of steel, young modulus of steel, specified minimum yield strength, riser batter, structural damping, emd fixity constant, corrosion allowance, riser clamp elevation* dan *marine growth density* dari *riser*. Sedangkan untuk data lingkungan harus ditentukan terlebih dahulu teori perhitungan,  $H_{max}$  dan  $T_{max}$  dari data gelombang serta teori perhitungan, *current velocity at specified location and reference height* dari data arus.

### B. Tahap Perhitungan: Soil Parameter (Riser and Span at KLB Platform)

Pada perhitungan ini lebih tepatnya menguraikan nilai dari *Riser properties* yang diantaranya diameter luar, *wall thickness, corrosion* dan *concrete coating* dan lainnya. Untuk *Soil properties* data yang diuraikan berupa tipe tanah dan lainnya. Dan untuk *preliminary calculation* untuk menentukan diantaranya total diameter luar, diameter dalam, *coating mass* dan lainnya. Perhitungan diatas sebagai perhitungan dasar terkait data tanah disekitar *riser* dan pada *platform* KLB.

### C. Tahap Perhitungan: Composite Coating

Selain data *riser*, data lingkungan, dan data tanah, *coating* pada *riser* juga perlu diperhitungkan dengan adanya data *coating* akan didapatkan hasil berupa total *composite coating thickness* yaitu 0,00032 m dan total *composite coating density* yaitu 952 kg/m<sup>3</sup> pada *Riser<sub>1</sub> Properties (corrosion coating)*, total *composite coating thickness* yaitu 0,016 m dan total *composite coating density* yaitu 1,345x10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup> pada *Riser<sub>2</sub> Properties (corrosion coating + splash zone)*, total *composite coating thickness* yaitu 3,2x10<sup>-3</sup> m dan total *composite coating density* yaitu 952 kg/m<sup>3</sup> pada *spool properties (corrosion coating)*, total *composite coating thickness* yaitu 0,074 m dan total *composite coating density* yaitu 2,962 x10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup> pada 10SPLS *Properties (corrosion coating + concrete coating)* dan total *composite coating thickness* yaitu 3,2x10<sup>-3</sup> m dan total *composite coating density* yaitu 952 kg/m<sup>3</sup> pada *Bend Properties*.

Tabel 1.  
Riser Clamp Elevation

No.	Riser Clamp Elevation (mm)
1	0,610
2	-7,620
3	-15,00

1) Riser<sub>1</sub> Properties (corrosion coating)

Total composite coating thickness:

$$t_{coat1} = t_2 = 0,00032 \text{ m} \quad (1)$$

Total composite coating density:

$$\rho_{coat1} = \rho_2 = 952 \text{ kg/m}^3 \quad (2)$$

2) Riser<sub>2</sub> Properties (corrosion coating + splash zone)

Total composite coating thickness:

$$t_{coat2} = t_2 - t_3 = 0,016 \text{ m} \quad (3)$$

Total composite coating density:

$$\rho_{coat2} = \frac{\frac{\pi}{4}[(OD+2t_2)^2 - OD^2]\rho_2 + \frac{\pi}{4}[(OD+2t_2+2t_3)^2 - (OD-2t_2)^2]\rho_3}{\frac{\pi}{4}[(OD+2t_{coat2})^2 - OD^2]} \quad (4)$$

$$\rho_{coat2} = 1,345 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

3) Spool properties (corrosion coating)

Total composite coating thickness:

$$t_{coat3} = t_2 = 3,2 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (5)$$

Total composite coating density:

$$\rho_{coat3} = \rho_2 = 952 \text{ kg/m}^3 \quad (6)$$

4) 10SPLS Properties (corrosion coating + concrete coating)

Total composite coating thickness:

$$t_{coat4} = t_1 + t_4 = 0,074 \text{ m} \quad (7)$$

Total composite coating density:

$$\rho_{coat4} = \frac{\frac{\pi}{4}[(OD+2t_1)^2 - OD^2]\rho_2 + \frac{\pi}{4}[(OD+2t_1+2t_4)^2 - (OD-2t_1)^2]\rho_4}{\frac{\pi}{4}[(OD+2t_{coat4})^2 - OD^2]} \quad (8)$$

$$\rho_{coat4} = 2,962 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

5) Bend Properties

Total composite coating thickness:

$$t_{coat5} = t_2 = 3,2 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (9)$$

Total composite coating density:

$$\rho_{coat5} = \rho_2 = 952 \text{ kg/m}^3 \quad (10)$$

D. Perhitungan menggunakan Software MathCAD

Semua perhitungan diatas dan selanjutnya dilakukan menggunakan software MathCAD dengan fungsi untuk mempermudah perhitungan dengan rumus yang kompleks. Setelah mendapat hasil dari perhitungan dasar (B dan C), selanjutnya perhitungan terkait panjang span dan velocity reference elevation dan tetap menggunakan software MathCAD. Input yang dilakukan pada MathCAD untuk mencari panjang span setiap titik clamp elevation dapat dilihat pada Tabel 1.

E. Menghitung Riser Effective Mass

Untuk menghitung massa efektif riser menggunakan data dari riser parameter dan perhitungan juga menggunakan software MathCAD.

$$M_{effi} = M_{cont_i} + M_{st_i} + M_{corr_1} + M_{corr_2} + M_{mg_i} + M_{add_i}, \quad (11)$$

dengan:

M<sub>cont<sub>i</sub></sub> = Mass of content (Kg/m)

M<sub>st<sub>i</sub></sub> = Mass of steel (Kg/m)

M<sub>corr<sub>1</sub></sub> = Mass of corrosion coating 1 (Kg/m)

M<sub>corr<sub>2</sub></sub> = Mass of corrosion coating 2 (Kg/m)

M<sub>mg<sub>i</sub></sub> = Mass of marine growth (Kg/m)

M<sub>add<sub>i</sub></sub> = Added mass (Kg/m)

F. Menghitung Steady Current Velocity dan Wave Induced Velocity

Menghitung steady current velocity menggunakan current profile namun perhitungan dilakukan juga dengan teori 1/7<sup>th</sup> Power Law pada setiap span reference height. Dengan current profile (Us) 1,22 m/s dan Current velocity (Ur) tiap kedalaman pada periode berulang 100 tahun.

Sedangkan untuk menghitung Wave induced Velocity menggunakan teori Irregular/Wave Spectrum pada setiap span reference height. Data gelombang berupa tinggi dan periode maksimum gelombang:

G. Menghitung Maximum Allowable Span

Langkah terakhir adalah menghitung panjang span maksimum yang diijinkan dimana sebelumnya telah di dapat panjang span pada setiap titik clamp elevation pada riser, panjang span maksimum yang diijinkan di hitung pada dua arah VIV yaitu In-line dan Onset cross-flow. Kemudian akan di dapat hasil pada arah mana maksimum panjang span terjadi dan apakah nilai panjang span yang telah diketahui sebelumnya sudah memenuhi atau tidak, tujuan penelitian ini adalah menghitung panjang span yang terjadi akibat vortex shedding tetap aman sesuai panjang span maksimum yang diizinkan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Riser Parameters

Riser dianggap sebagai produk paling kritis dalam pengembangan jaringan pipa lepas pantai dengan mempertimbangkan kemudahan dalam menyalurkan minyak dan gas dari anjungan ke daratan. Perkembangan metode produksi terapung memacu langsung pengembangan desain atau perancangan riser. Semakin dalam daerah operasi maka diperlukan desain riser yang cukup handal untuk menahan adanya beban lingkungan yang terjadi.

Tujuan dari perhitungan ini adalah untuk menentukan panjang free span (bentang bebas) yang diijinkan pada riser karena Vortex Induced Vibration (VIV). Reduced Velocity yang dihitung menggunakan standard DNV 1981 sedangkan untuk beban lingkungan yang berupa gelombang dan arus menggunakan standard DNV RP C205. Perhitungan dibawah ini menggunakan riser dengan diameter luar 12,75 in (323,9 mm) pada platform KLB dan pada kondisi operasi. Berikut parameter riser berdasarkan design basis proyek PHE

Tabel 2.  
Current Data

Description	Return Period (100 yrs)	Unit
At 0% of depth	1,37	m/s
20% of depth	0,99	m/s
50% of depth	0,72	m/s
70% of depth	0,64	m/s
100% of depth	0,59	m/s

ONWJ.

Outside Diameter ( $D_{rs}$ )	= 12,75 in
Riser Wallthickness ( $t_{rs}$ )	= 12,7 mm
Young Modulus of Steel ( $E_{st}$ )	= 207000 MPa
Density of Steel ( $\rho_{st}$ )	= 7850 kg/m <sup>3</sup>
Specified Minimum Yield Strength (SMYS)	= 360 MPa
Structural Damping ( $\xi$ )	= 0,005
End Fixity Constant	= Pinned-Fixed
Marine Growth Density ( $\rho_{mg}$ )	= 1233,4 kg/m <sup>3</sup>
Corrosion Allowance (CA)	= 3 mm
Riser Clamp Elevation	= 0,610m, -7,620m, -15,000m

Setelah menginput data diatas ke software MathCAD maka didapat hasil dan dirangkum sebagai berikut.

Dari titik *clamp elevation* 0,610 mm ke -7,620 mm:

Span length	= 8,23 m
Velocity Reference Elevation	= -2,133 m
Thickness (coating 1)	= 3,2 mm
Density (coating 1)	= 952 kg/m <sup>3</sup>
Thickness (coating 2)	= 12,7 mm
Density (coating 2)	= 1440 kg/m <sup>3</sup>
Marine Growth	= 0 mm
Internal Corrosion Allowance	= 3 mm
Dari titik <i>clamp elevation</i> -7,620 mm ke -15,00 mm:	
Span length	= 7,38 m
Velocity Reference Elevation	= -10,08 m
Thickness (coating 1)	= 3,2 mm
Density (coating 1)	= 952 kg/m <sup>3</sup>
Thickness (coating 2)	= 0 mm
Density (coating 2)	= 0 kg/m <sup>3</sup>
Marine Growth	= 0 mm
Internal Corrosion Allowance	= 3 mm

### B. Environmental Data

Data lingkungan yang berisi data arus dan gelombang akan digunakan dalam perhitungan selanjutnya yaitu *steady current velocity* dan *wave induced velocity*. Berikut dibawah ini merupakan ringkasan data arus dan gelombang yang diperlukan.

Seawater Density ( $\rho_{sw}$ )	= 1025 kg/m <sup>3</sup>
Seawater Kinematic Viscosity ( $\nu$ )	= 1,13x10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> /s
Water Depth at Platform w.r.tMSL (d)	= 15,00 m
Added Mass Coefficient (ca)	= 1

#### 1) Data Gelombang

Wave Height/Hmax (Hw)	= 4,7 m
Period of Wave/Tmax (Tw)	= 8,1 s

#### 2) Data Arus

Current Profile (Us)	= 1,22 m/s
Current Velocity (Ur) pada tiap kedalaman dengan periode berulang 100 tahun dapat dilihat pada Tabel 2.	

### C. Perhitungan Riser Effective Mass

Perhitungan untuk mendapatkan massa efektif riser di

jabarkan dengan rumus perhitungan bawah ini, Untuk panjang *span* 8,23m, rumus beserta perhitungan untuk menghitung masa efektif riser sebagai berikut:

$$\text{Actual Wall Thickness } (t_{st}) = t_{rs} - CA \quad (12)$$

$$= 9,7 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Internal Diameter (ID)} = D_{rs} - 2.t_{st} \quad (13)$$

$$= 0,304 \text{ m}$$

$$D. \text{ Corrosion Coating 1} (D_{corr1}) = D_{rs} + 2.t_{coat1} \quad (14)$$

$$= 0,33 \text{ m}$$

$$D. \text{ Corrosion Coating 2} (D_{corr2}) = D_{corr1} + 2.t_{coat2} \quad (15)$$

$$= 0,356 \text{ m}$$

$$D. \text{ Marine Growth (Dtot)} = D_{corr2} + 2.t_{mar} \quad (16)$$

$$= 0,356 \text{ m}$$

$$\text{Inertia Moment } (I_{st}) = \pi/64 [D_{rs}^4 - (ID)^4] \quad (17)$$

$$= 1,182 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$\text{Mass of Steel } (M_{st}) = \pi/4 (D_{rs}^2 - (ID)^2) \cdot \rho_{st} \quad (18)$$

$$= 75,15 \text{ kg/m}$$

$$MCC 1 (M_{corr1}) = \pi/4 [(D_{corr1})^2 - D_{rs}^2] \cdot \rho_{coat1} \quad (19)$$

$$= 0 \text{ kg/m}$$

$$MCC 1 (M_{corr1}) = \pi/4 [(D_{corr2})^2 - (D_{corr1})^2] \cdot \rho_{coat2} \quad (20)$$

$$= 19,704 \text{ kg/m}$$

$$MMG (M_{mg}) = \pi/4 [(Dtot)^2 - (D_{corr2})^2] \cdot \rho_{mg} \quad (21)$$

$$= 0 \text{ kg/m}$$

$$\text{Mass of Contents } (M_{cont}) = \pi/4 [(ID)^2] \cdot \rho_{cont} \quad (22)$$

$$= 1,631 \text{ kg/m}$$

$$\text{Mass of Displaced Water } (M_{disp}) = \pi/4 [(Dtot)^2] \cdot \rho_{sw} \quad (23)$$

$$= 101,826 \text{ kg/m}$$

$$\text{Added Mass } (M_{add}) = Ca \cdot M_{disp} \quad (24)$$

$$= 101,826 \text{ kg/m}$$

$$M_{eff} = M_{cont} + M_{st} + M_{corr1} + M_{corr2} + M_{mg} + M_{add} \quad (25)$$

$$= 198,31 \text{ kg/m}$$

Untuk panjang *span* 7,38 m, rumus untuk menghitung masa efektif riser sama dengan rumus perhitungan sebelumnya yaitu sebagai berikut:

$$\text{Actual Wall Thickness } (t_{st}) = t_{rs} - CA \quad (26)$$

$$= 9,7 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Internal Diameter (ID)} = D_{rs} - 2.t_{st} \quad (27)$$

$$= 0,304 \text{ m}$$

$$D. \text{ Corrosion Coating 1} (D_{corr1}) = D_{rs} + 2.t_{coat1} \quad (28)$$

$$= 0,33 \text{ m}$$

$$D. \text{ Corrosion Coating 2} (D_{corr2}) = D_{corr1} + 2.t_{coat2} \quad (29)$$

$$= 0,33 \text{ m}$$

$$D. \text{ Marine Growth (Dtot)} = D_{corr2} + 2.t_{mar} \quad (30)$$

$$= 0,33 \text{ m}$$

$$\text{Inertia Moment } (I_{st}) = \pi/64 [D_{rs}^4 - (ID)^4] \quad (31)$$

$$= 1,182 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$\text{Mass of Steel } (M_{st}) = \pi/4 (D_{rs}^2 - (ID)^2) \cdot \rho_{st} \quad (32)$$

$$= 75,15 \text{ kg/m}$$

$$MCC 1 (M_{corr1}) = \pi/4 [(D_{corr1})^2 - D_{rs}^2] \cdot \rho_{coat1} \quad (33)$$

$$= 0 \text{ kg/m}$$

$$MCC 1 (M_{corr1}) = \pi/4 [(D_{corr2})^2 - (D_{corr1})^2] \cdot \rho_{coat2} \quad (34)$$

$$= 0 \text{ kg/m}$$

$$MMG (M_{mg}) = \pi/4 [(Dtot)^2 - (D_{corr2})^2] \cdot \rho_{mt} \quad (35)$$

$$= 0 \text{ kg/m}$$

$$\text{Mass of Contents } (M_{cont}) = \pi/4 [(ID)^2] \cdot \rho_{cont} \quad (36)$$

$$= 1,631 \text{ kg/m}$$

$$\text{Mass of Displaced Water } (M_{disp}) = \pi/4 [(Dtot)^2] \cdot \rho_{sw} \quad (37)$$

$$= 87,801 \text{ kg/m}$$

$$\text{Added Mass } (M_{add}) = Ca \cdot M_{disp} \quad (38)$$

$$= 87,801 \text{ kg/m}$$

Tabel 3.

Hydrodynamic Coefficient			
Hydrodynamic Coefficient			
Coeff	Installation	Operation	Remark
C <sub>D</sub>	1	0,7	Riser
C <sub>I</sub>	2	2	
C <sub>D</sub>	1,2	1,2	Pipeline
C <sub>L</sub>	0,9	0,9	
C <sub>I</sub>	3,29	3,29	

$$M_{eff} = M_{cont} + M_{st} + M_{corr1} + M_{corr2} + M_{mg} + M_{add} \quad (39)$$

$$= 164,582 \text{ kg/m}$$

Hasil dari setiap perhitungan menghasilkan 2 nilai yaitu untuk mendefinisikan masing-masing dari setiap panjang *span* yang telah didapat sebelumnya yaitu 8,23 m dan 7,38 m. Dari kedua perhitungan dengan rumus yang sama untuk mencari masa efektif *riser* ( $M_{eff}$ ), didapat nilai  $M_{eff}$  untuk panjang *span* 8,23 m adalah 198,31 kg/m dan untuk nilai  $M_{eff}$  untuk panjang *span* 7,38 m adalah 164,582 kg/m.

#### D. Perhitungan Hydrodynamic Load

Pada *hydrodynamic load* terdapat *hydrodynamic coefficient* yang berupa *Drag Coefficient* (CD), *Lift Coefficient* (CL) dan *Inertia Coefficient* (CI) pada 2 kondisi yaitu instalasi dan operasi pada *pipeline* dan *riser* [3]. *Hydrodynamic coefficient* ditunjukkan seperti pada Tabel 3.

Hasil yang didapat dalam perhitungan ini merupakan masing-masing dari setiap *span reference height* yaitu -2,133 m dan -10,08 m.

##### 1) Steady Current Velocity:

Jika menggunakan  $1/7^{th}$  *Power Law, Steady Current Velocity* ( $U_{r1}$ ) = 1,194 m/s dan 1,04 m/s. Sedangkan jika menggunakan *Current Profile, steady current velocity* ( $U_{r2}$ ) = 1,19 m/s dan 0,674 m/s. Karena perhitungan *steady current velocity* menggunakan *Current Profile* maka kecepatan rata-rata yang bekerja pada pipa pada setiap *span reference* adalah 1,19 m/s dan 0,674 m/s.

##### 2) Wave Induced Velocity:

Jika menggunakan teori *Linear/Airy, wave induced velocity* ( $U_{w1}$ ) = 1,979 m/s dan 1,402 m/s. sedangkan jika menggunakan teori *Irregular/Wave Spectrum, wave induced velocity* ( $U_{w2}$ ) = 0 m/s dan 0 m/s.

#### E. Span Length due to Vortex Shedding

Perhitungan dimulai dengan menentukan nilai dari frekuensi *vortex shedding* dan frekuensi natural dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{Vortex Frequency} = Fv = \frac{St(Uc+Uw)}{D_{tot}} \quad (40)$$

$$\text{Natural frequency} = Fn = \frac{C1}{Span} \sqrt{\frac{Est.Ist}{Meff}} \quad (41)$$

Kemudian mengetahui nilai dari *structural damping* dan *strouhal number*:

$$\text{Structural Damping} (\delta d) = 0,0031$$

$$\text{Strouhal Number} = 0,2$$

Selanjutnya hasil perhitungan dibawah seperti *Reynold Number* (Re), *Vortex Frequency* (fv), *Natural Frequency* (fn) dan *Stability Parameter* (Ks) serta *Reduced Velocity* (Vr) pada masing-masing arah *In-line* dan *Cross-flow* adalah sebagai berikut:

$$\text{Reynold Number} (Re) = 3,745 \times 10^4 \text{ dan } 1,97 \times 10^4$$

$$\text{Vortex Frequency} (fv) = 0,669 \text{ s dan } 0,408 \text{ s}$$

Tabel 4.

Ringkasan Hasil MAFSL pada setiap panjang <i>span</i>				
No	Span Length (m)	Allowable Span Length		Max. Allowable Span (m)
		In-Line VIV (m)	Cross-Flow VIV (m)	
1	8,230	16,042	35,871	16,042
2	7,380	21,517	48,113	21,517

$$\text{Natural Frequency} (fn) = 657,3 \text{ m/s dan } 804,61 \text{ m/s}$$

$$\text{Stability Parameters} (Ks) = 0,096 \text{ dan } 0,093$$

$$\text{Reduced Velocity (In-line)} = 1 \text{ dan } 1$$

$$\text{Reduced Velocity (Cross-flow)} = 5 \text{ dan } 5$$

Selanjutnya dapat di tentukan panjang *span* kritis atau maksimum panjang *span* pada 2 arah yaitu *In-line* dan *Cross-flow* pada setiap panjang *span* 8,32m dan 7,38m adalah sebagai berikut:

$$\text{Critical Span Length for In-line}(Lil)=16,042 \text{ m dan } 21,517 \text{ m}$$

$$\text{Critical Pipe Span due to Onset cross-flow} (Lef) = 35,871 \text{ m dan } 48,113 \text{ m.}$$

Setelah mendapatkan hasil perhitungan panjang *span* dari tiap *titik clamp elevation* dan *critical span length* pada dua arah yaitu *In-line* dan *Cross-flow*. Langkah selanjutnya adalah menghitung *Maximum Allowable Free Span Length* (MAFSL) dengan melihat minimum panjang *span* yang diizinkan dari dua arah yaitu *In-line* dan *Cross-flow*, karena *vortex* yang terjadi pada arah *In-line* maka didapat hasil panjang *span* maksimum yang diizinkan adalah sebagai berikut:

$$\text{Maximum Allowable Span} (Lall) = 16,042 \text{ m dan } 21,517 \text{ m}$$

Hasil ringkasan dari panjang *span* maksimum yang diizinkan pada setiap panjang *span* dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan ringkasan dari Tabel 4, dapat disimpulkan bahwa *riser KLB platform* dengan 3 *titik clamp elevation* yaitu 0,610 m, -7,620 m, dan -15,00 m memiliki panjang *span* masing-masing diantaranya adalah 8,23 m dan 7,38 m. Dari setiap panjang *span* tersebut digunakan untuk menghitung panjang *span* maksimum atau panjang kritis pada 2 arah aliran yaitu *In-line* dan *Cross-flow*. Karena menghtiung *Maximum Allowable Free Span Length* (MAFSL) dilihat dari nilai minimum antara *critical span* pada arah *in-line* dan *critical span length* pada arah *cross-flow*, maka nilai MAFSL adalah sama dengan *critical span length* pada arah *In-line*. dengan begitu, dapat dinyatakan bahwa panjang *span* 8,23 m dan 7,38 m pada *riser KLB Platform* masih aman karena tidak melebihi MAFSL yaitu 16,042 m dan 21,517 m.

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisis panjang *span* maksimum yang diijinkan akibat *vortex shedding* pada *riser KLB platform*, maka dapat ditarik bebarapa kesimpulan sebagai berikut: (1) Hasil dari *Stability parameter* (Ks) pada setiap panjang *span* adalah 0,096 dan 0,093, sedangkan *Reduced Velocity* (Vr) pada arah *In-line* untuk setiap panjang *span* adalah 1. Sedangkan Vr pada arah *cross-flow* untuk setiap panjang *span* adalah 5 dengan Ks 0,086 dan 0,093. Hasil ini menunjukkan bahwa pada resonansi *In-line vortex shedding* menyebabkan osilasi atau getaran sejajar arah *in-line* karena  $Ks < 1,8$  dan  $1,0 < Vr < 2,2$  [4]. Sedangkan osilasi *cross-flow* akibat *vortex shedding* juga terjadi tetapi sangat kecil dimana  $Ks < 16$  dan  $3,5 < Vr < 10$  [4]. (2) Hasil *critical span length* pada *In-line* dan *cross-flow* dengan mengetahui

nilai *Reynold number* dan *Vortex shedding frequency* serta *Natural frequency* pada setiap panjang *span*. Maka didapat *critical span length* pada arah *In-line* adalah 16,042 m dan 21,517 m dan *critical span length* pada arah *Cross-flow* adalah 35,871 m dan 48,113 m. (3) Hasil *maximum allowable span* dari titik *clamp elevation* 0,610 mm ke -7,620 mm dengan panjang *span* 8,23 m adalah 16,042 m dan dari titik *clamp elevation* -7,620 mm ke -15,00 mm dengan panjang *span* 7,38 m adalah 21,517 m. Hasil tersebut sekaligus juga menyatakan bahwa panjang *span* pada *riser KLB platform* masih dalam batas aman karena tidak melebihi *maximum allowable span*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Xu, G. Li, J. J. Horrillo, R. Yang, and L. Cao, "Calculation of maximum allowable free span length and safety assessment of the DF1-1 submarine pipeline," *J. Ocean Univ. China*, vol. 9, no. 1, pp. 1–10, 2010, doi: 10.1007/s11802-010-0001-4.
- [2] D. Priyanta and A. Abdullah, "Analysis of the suppression device as Vortex Induced Vibration (VIV) reducer on free span using finite element method," *Int. J. Mar. Eng. Innov. Res.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2016, doi: 10.12962/j25481479.v1i1.1387.
- [3] Det Norske Veritas, *DNV-RP-F105: Free Spanning Pipelines*, vol. 163, no. February. Baerum: Det Norske Veritas, 2006.
- [4] D. N. Veritas, *Rules for Submarine Pipeline Systems*. Baerum: Det Norske Veritas, 1981.