

# Analisa Keandalan Pipa Bawah Laut Akibat *Free spanning* dan Rektifikasinya.

Wahyu Ignas Dwi Putra, Hasan Ikhwan, dan Daniel M. Rosyid

Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: Hikhwani@oe.its.ac.id

**Abstrak** - Pipa bawah laut merupakan salah satu alat transportasi minyak dan gas yang padat akan modal menuntut desain dan perawatan yang teliti sesuai *code* yang berlaku. Salah satu permasalahan yang sering terjadi pada pipa bawah laut adalah adanya gerusan tanah yang diakibatkan oleh arus yang biasa disebut dengan *scouring*. Akibat dari adanya permasalahan ini adalah terbentuknya bentangan bebas pada pipa bawah laut atau *free span*. Dengan melihat permasalahan ini tentunya harus dilakukan rektifikasi atau pembetulan agar tidak terjadi kegagalan. Lokasi yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah pipa bawah laut dari Maleo Field sampai EGJP (East Java Gas Pipeline) dengan free span terpanjang 36 m. Dengan menggunakan tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang signifikan, maka didapatkan pada free span terpanjang memiliki tegangan longitudinal arah *in line* sebesar 338,5 Mpa dan arah *cross flow* sebesar 337,5 Mpa. Sedangkan untuk tegangan ekuivalen pipa bawah laut arah *in line* sebesar 293,5 Mpa dan arah *cross flow* sebesar 292 Mpa. Ketidakpastian kondisi lingkungan pada kondisi riil, sehingga perlu dihitung keandalan dengan simulasi monte carlo. Keandalan terhadap tegangan longitudinal dan tegangan ekuivalen pada tugas akhir ini menggunakan simulasi montecarlo, maka diketahui panjang *free span*  $\leq 25$  m mempunyai indeks keandalan stabil yaitu 5 yang sudah melebihi indeks keandalan yang diterima oleh industri yaitu 3. Sehingga free span 25 m ditetapkan menjadi panjang free span yang diijinkan. Melihat banyaknya panjang *free span* yang lebih dari 25 m maupun kondisi seabed yang rentan akan *scouring* maka perlu dilakukan rektifikasi. Tindakan rektifikasi ini bertujuan untuk menghindari kegagalan pada pipa bawah laut terhadap *overstress*. Rektifikasi dilakukan dengan memberikan *support* atau tumpuan. Pada tugas akhir ini *support* yang digunakan adalah type pyramid karena dapat menghindari *scouring*. Dari perhitungan stabilitas diketahui bahwa *support* aman dari *overturning momen* dengan rasio antara *resisting momen* dan *overturning momen* adalah 7,601, *sliding force* juga aman dengan rasio *friction force* dan *vertical force* adalah 1,54, *bearing capacity of soil* dengan uc sebesar 0.901 dan *settlement* sebesar 5 mm.

**Kata Kunci** – *Free Span*, Keandalan, *Support*, Stabilitas

## I. PENDAHULUAN

Pipa yang mengalami kegagalan dapat berdampak kepada kerugian biaya dan berkurangnya produksi minyak dan gas nasional. Salah satu penyebab kegagalan pada pipa bawah laut

adalah adanya bentangan bebas yang disebabkan oleh dasar laut yang tidak rata dan adanya penggerusan tanah oleh arus yang biasanya disebut *scouring*. Posisi pipa yang terumpu oleh dua tumpuan akan mengakibatkan pipa menahan beban beratnya sendiri serta beban lingkungan

Kegagalan pada pipa bawah laut ini dapat berupa *buckling*, *fatigue* maupun *overstress*. Salah satu kasus pada pipa yang mengalami *scouring* adalah jalur pipa bawah laut dari platform maleo ke EGJP (*East Java Gas Pipeline*) sepanjang 7,535 km disebelah tenggara Pulau Madura. Setelah dilakukan inspeksi visual dengan menggunakan ROV pada awal januari 2013 didapatkan laporan bahwa terbentuk 179 *freespan* dengan *freespan* terpanjang 36 m. Perlu diketahui keandalan dari masing-masing *free span* agar dapat dilakukan tindakan rektifikasi. Keandalan pada penelitian ini adalah terhadap tegangan longitudinal yaitu tegangan yang terjadi pada pipa secara melintang dan tegangan ekuivalen yaitu tegangan hasil dari resultan tegangan longitudinal dan *hoop stress*. Dari keandalan ini diharapkan menjadi acuan dalam tindakan rektifikasi untuk menambah indeks keandalan *free span* sehingga pipa aman dalam beroperasi.



Gambar 1. Lokasi Pipa yang dianalisa



Gambar 2. Inspeksi Visual ROV pada Pipeline di Maleo Field



II. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan studi literatur dan mengumpulkan bahan-bahan sumber pustaka sebagai acuan berupa buku, jurnal, dan laporan penelitian yang berhubungan dengan perhitungan tegangan dan keandalan pada *Freespan*. Kemudian mengumpulkan data pipa maupun lingkungan dimanadata yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pipa dari *Maleo MOPU Platform* sampai EGJP.

Tabel 1. Data Pipa

Parameters	Units	Simbol	Description
Outside Diameter	Mm	Ds	355.6 (14 inch)
Line Pipe Wall Thickness	Mm	t <sub>com</sub>	14.3
Material	-		API 5L Grade X65 PSL 2 CS
SMYS <sup>1)</sup>	MPa		448
SMTS <sup>1)</sup>	MPa		531
Poison Ratio	-	ν	0.3
Steel Density	kg/m <sup>3</sup>	ρ <sub>steel</sub>	7850
Content density (max. at 1500psig and 75 MMscfd)	kg/m <sup>3</sup>	ρ <sub>cont</sub>	85 <sup>2)</sup>
Pipeline Service	-		Gas

Tabel 2. Data tanah

Parameter	Units	Symbol	Description
Soil Type	-	-	Clay
Undrained Shear Strength	kPa	Su	2.0
Friction Angle	Deg	-	0.0
Submerged Weight	kN/m <sup>3</sup>	γ <sub>soil</sub>	3.2

Tabel 3. Data yang akan diinput dalam perhitungan

Parameter	Units	Symbol	Value
Kedalaman laut	m	d	55
Kedalaman pipa dilaut	m	y	54,788
Tinggi Gelombang Signifikan	m	Hs	5.19
Periode Gelombang	s	Ts	11.46
Panjang Gelombang	m	Lw	194.91
Kedalaman Scouring	m	e	1
Kecepatan arus di permukaan	m/s	U	1.03
Design Internal Pressure	Mpa	Pi	13.89
Residual Lay Tension	kN	Heff	450

Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan maka dapat dilakukan perhitungan stress range pada pipa dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

Untuk arah *In-line*:

$$S_{IL} = 2A_{IL} \left( \frac{A_Y}{D} \right) \psi_{\alpha, IL} \gamma_s \quad (1)$$

Untuk arah *Cross flow* :

$$S_{CF} = 2A_{CF} \left( \frac{A_Z}{D} \right) R_k \gamma_s \quad (2)$$

dengan :

- A<sub>IL</sub> = unit stress amplitude untuk arah in-line (m)
- ψ<sub>α, IL</sub> = faktor koreksi untuk *current flow ratio*
- A<sub>Y</sub>/D = amplitudo maksimum dari respon VIV(MPa)
- γ<sub>s</sub> = safety factor tegangan = 1,05

R<sub>k</sub> = faktor reduksi damping

Kemudian mendapatkan tegangan dinamis akibat beban lingkungan pada *free span* dengan menggunakan persamaan :

$$\sigma_{dyn} = \frac{1}{2} SIL \text{ (in line flow)} \quad (3)$$

$$\sigma_{dyn} = \frac{1}{2} SCF \text{ (Cross flow)} \quad (4)$$

Setelah mendapatkan tegangan dinamis maka selanjutnya menghitung tegangan longitudinal pada pipa dimana tegangan ini merupakan tegangan memanjang pada pipa yang disebabkan oleh tegangan aksial, tegangan akibat momen dan tegangan dinamis. Untuk mendapatkan tegangan aksial dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\sigma_{axial} = \frac{N_{tr}}{A_s} \quad (5)$$

dengan :

N<sub>tr</sub> = Gaya aksial efektif (kN)

A<sub>s</sub> = Luas terluar dari pipa (m<sup>2</sup>)

Momen yang terjadi dapat diketahui dengan menggunakan persamaan :

$$M = \frac{W_{sub} \times L_{eff}^2}{8} \quad (6)$$

dengan :

W<sub>sub</sub> = Submerged weight free span (N/m)

L = Panjang dari *free span* (m<sup>2</sup>)

Untuk mendapatkan tegangan longitudinal akibat moment dapat menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\sigma_m = \frac{M \times Dt}{2 I_{steel}} \quad (7)$$

dengan:

Dt = Diameter pipa

I<sub>steel</sub> = Momen Inersia dari pipa

Maka total tegangan longitudinal dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$\sigma_l = \sigma_{dyn} + \sigma_m + \sigma_{axial} \quad (8)$$

Dalam pemilihan tebal pipa, pertimbangan tebal material untuk menahan perbedaan tekanan dari luar dan dari dalam yang disebut dengan *hoop stress* adalah sangat penting. Adapun rumus dari *hoop stress* adalah

$$\sigma_h = (P_i - P_e) \frac{D-t}{2t} \quad (9)$$

dengan :

P<sub>i</sub> = Tekanan Internal (N)

P<sub>e</sub> = Tekanan Eksternal (N)

Setelah mendapatkan hoop stress dan longitudinal stress maka tegangan ekuivalent dapat di cari.

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_l^2} - \sigma_h \sigma_l \quad (2.29) \quad (10)$$

dengan :

σ<sub>e</sub> = equivalent stress (MPa)

σ<sub>l</sub> = tegangan longitudinal (MPa)

σ<sub>h</sub> = hoop stress (MPa)

Setelah mendapatkan tegangan ekuivalen kemudian mencari keandalan *free span*. Dalam perhitungan keandalan *free span* pada kasus ini menggunakan simulasi montecarlo. Metode ini



digunakan karena lebih menggambarkan kondisi riil atau sebenarnya di lapangan sehingga sangat cocok digunakan pada tugas akhir ini. Simulasi montecarlo menggunakan data acak yang berasal dari Random Number Generated (RNG) yang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Untuk memudahkan dalam mendapatkan *Random number* pada tugas akhir ini menggunakan software minitab. Adapun variabel acak beserta jenis distribusinya akan ditampilkan pada Tabel 4. Seperti yang diketahui bahwa indeks keandalan yang diterima oleh perusahaan adalah 3 maka dari simulasi ini kita akan mengetahui apakah *free span* dalam kasus ini andal atau tidak dan nantinya dapat diketahui berapa panjang *free span* yang andal. Pada tugas akhir ini menggunakan 20000 simulasi. Simulasi akan dilakukan 4 (empat) kali yaitu simulasi montecarlo terhadap tegangan ekuivalen arah *in line*, tegangan longitudinal arah *in line*, tegangan ekuivalen arah *cross flow*, dan tegangan longitudinal arah *cross flow*. Dengan moda kegagalan sebagai berikut :

a. Moda kegagalan terhadap tegangan longitudinal arah *In line*  

$$MK = \eta \times SMYS - \sigma_{lL} \quad (11)$$

b. Moda kegagalan terhadap tegangan longitudinal arah *Cross flow*

$$MK = \eta \times SMYS - \sigma_{CF} \quad (12)$$

c. Moda kegagalan terhadap tegangan ekuivalen arah *In line*  

$$MK = \eta \times SMYS - \sqrt{\sigma_{lL}^2 + \sigma h^2} - \sigma_{lL} \sigma h^2 \quad (13)$$

c. Moda kegagalan terhadap tegangan ekuivalen arah *Cross flow*

$$MK = \eta \times SMYS - \sqrt{\sigma_{CF}^2 + \sigma h^2} - \sigma_{CF} \sigma h^2 \quad (14)$$

Dengan menggunakan variabel acak sebagai berikut:

**Tabel 4.** Variabel Acak pada Simulasi Montecarlo

Rand variable	Distribusi	Mean	StdDeviasi
Tinggi Gelombang (Hs)	Weibull	0.3028	0.35
Kecepatan arus (Uc)	Weibull	0.4690	0.0469
Tekanan Internal (Pi)	Normal	12.6	1.26
$\eta \times SMYS$	Normal	358.4	35.84
Inersia Pipa ( $I_{steel}$ )	Normal	0.0224	0.0112

Dari keandalan maka didapatkan peluang kegagalan yang dapat dikonversikan menjadi indeks keandalan dengan menggunakan persamaan :

$$\beta = -\log(P_f/2) \quad (15)$$

Dimana

$\beta$  = Indeks Keandalan  
 $P_f$  = Peluang Kegagalan

Setelah Indeks keandalan *free span* diketahui maka kemudian menentukan panjang *free span* yang memiliki indeks keandalan yang melebihi indeks keandalan yang diterima oleh industri. Untuk *free span* yang memiliki indeks keandalan yang lebih kecil perlu dilakukan rektifikasi dengan memberikan tumpuan *support* untuk mencegah overstress dan meningkatkan indeks keandalannya. Adapun nantinya *support* yang digunakan adalah tipe pyramid karena mampu mencegah scouring. Tipe ini perlu dilakukan stabilitas pada peletakkanya

yang mencakup overturning momen, sliding force, bearing capacity dan settlement.

1. *Overturning moment stability* merupakan rasio perbandingan antara *overturning moment* yang diakibatkan oleh beban arus dan gelombang dengan *Restoring Moment* yang diakibatkan oleh *self weight*. *Safety factor minimum* yang direkomendasikan *Overturning Stability* adalah 1,5 (API RP 2A WSD tahun 2000).



**Gambar 3.** *Overturning moment*

Jadi struktur dikatakan aman dari *overturning momen* apabila

$$\frac{F_y X}{M_z} \text{ atau } \frac{F_y}{M_x} \geq 1.5 \quad (16)$$

2. *Sliding Stability* adalah rasio perbandingan gaya friksi atau *selfweight* yang telah dikalikan dengan koefisien friksi dari tanah dengan gaya horizontal yang disebabkan oleh arus dan gelombang. *Safety factor minimum* yang direkomendasikan *Sliding Stability* adalah 1,5 (API RP 2A WSD tahun 2000).

$$\frac{F_y X \mu}{F_{horizontal}} \geq 1.5 \quad (17)$$

dengan  $\mu$  = koefisien friksi dari tanah

3. *Bearing capacity* adalah untuk menentukan daya dukung tanah yang aman. Maka daya dukung tanah ultimat harus dibagi dengan *safety faktor* seperti persamaan dibawah ini.

$$SBC = \frac{Q_{ult}}{FOS} \quad (18)$$

dengan :

SBC = *Safe bearing Capacity* (kPa)

$Q_{ult}$  = *Ultimate Bearing Capacity* (kPa)

Untuk *safety factor* menurut API RP 2A WSD adalah 2,5.

Sedangkan perhitungan untuk mencari *bearing pressure* dapat menggunakan persamaan dibawah ini.

$$P_{base} = \frac{F_y}{(L-2e)B} \quad (19)$$

dengan :

$F_y$  = Gaya vertikal total yang diterima oleh tanah (N)

$e$  = Eccentricity,  $e = M_{base}/F_y$  (m)

$B$  = Lebar dari *support* (m)

4. *Settlement* merupakan penurunan tanah yang terjadi akibat beban vertikal yang diterimanya. Perhitungan ini penting untuk mengetahui sebesar apa penurunan tanah yang terjadi akibat beban support dan pipa. Pada buku "*Foundation Analysis and Design*" Joseph E Bowles, penurunan tanah dapat menggunakan rumus :

$$S = q \cdot B \cdot \left( \frac{1-\eta^2}{E} \right) I_w \quad (20)$$

dengan :

$q$  = beban vertikal (N)



B = Lebar struktur (m)  
 $I_w$  = Influence factor (persegi panjang  $I_w = 0.82$ )  
 E = Elastic Modulus (MPa)

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Tegangan Longitudinal

Tegangan longitudinal ini merupakan penjumlahan dari tegangan longitudinal akibat beban dinamis yang menggunakan tinggi gelombang signifikan 100 tahun, tegangan akibat beban aksial dan tegangan akibat momen sehingga hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5. Perhitungan Total Longitudinal Stress

Parameter		Satuan	Simbol	Nilai
Tegangan longitudinal dinamis	In line	MPa	$\sigma_{dyn IL}$	13.24
	Cross Flow		$\sigma_{dyn CF}$	19.01
Tegangan longitudinal momen	In line	MPa	$\sigma_{mIL}$	191.9
	Cross Flow		$\sigma_{mCF}$	185
Tegangan longitudinal aksial		MPa	$\sigma_{axial}$	133.5
Total Tegangan longitudinal	In line	MPa	$\sigma_{IL}$	299.5
	Cross Flow		$\sigma_{CF}$	302.8

B. Perhitungan Hoop Stress

Hoop stress digunakan untuk mempertimbangkan material untuk menahan perbedaan tekanan dari luar dan dari dalam. Perhitungan hoop stress menggunakan Persamaan 9. Adapun hasil perhitungan hoop stress dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan Hoop Stress

Parameter	Satuan	Simbol	Nilai
Tekanan Internal	MPa	$P_i$	13.89
Tekanan Eksternal	MPa	$P_e$	0.563
Diameter Pipa	m	$D_s$	0.356
Wall Thickness	m	$t_{nom}$	0.014
Hoop Stress	MPa	$\sigma_h$	159

C. Perhitungan Equivalent Stress

Setelah mendapatkan hoop stress dan longitudinal stress maka tegangan ekuivalen dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 10. Adapun hasil perhitungan equivalent stress ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 7. Perhitungan Equivalent Stress

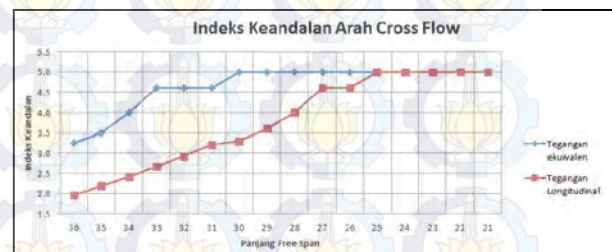
Parameter		Satuan	Simbol	Nilai
Total Tegangan Longitudinal	In Line	MPa	$\sigma_{IL}$	338.5
	Cross Flow		$\sigma_{CF}$	337.5
Hoop Stress		MPa	$\sigma_h$	159
Ekuivalen Stress	In Line	MPa	$\sigma_{eIL}$	293.3
	Cross Flow		$\sigma_{eCF}$	292.5

D. Perhitungan Indeks Keandalan Free span

Untuk mendapatkan keandalan beserta indeks keandalan dapat menggunakan persamaan 15 dengan moda kegagalan dari persamaan 11,12,13,14. Sehingga hasil dari indeks keandalan free span dapat ditunjukkan pada gambar 5 dan 6.



Gambar 4. Indeks Keandalan Free span arah In line



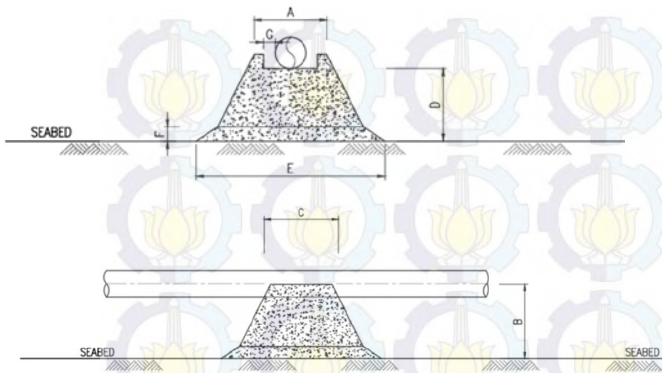
Gambar 5. Indeks Keandalan Free span arah Cross flow

Dari grafik tersebut dapat dianalisa bahwa panjang free span lebih dari 25 m memiliki indeks keandalan yang fluktuatif sedangkan panjang free span yang memiliki panjang kurang atau sama dengan 25 m memiliki indeks keandalan yang stabil yaitu 5. Sehingga dapat ditetapkan bahwa panjang free span maksimum yang akan digunakan dalam rektifikasi adalah 25 m.

E. Tipe dan Dimensi Support

Pada penelitian ini tumpuan yang digunakan adalah pyramid pipeline support karena selain mudah dalam instalasi serta dapat mencegah scouring disekitar tumpuan. Untuk dimensinya tertera dalam formshore.com yang nantinya kita dapat memilih dimensi support berdasarkan outer pipe kita yang biasa menjadi rujukan industri dalam free span rectification. Tetapi pada penelitian ini terdapat modifikasi dengan pemberian gap antara stopper dan pipa sehingga pipa masih dapat bergerak untuk mengurangi tegangan lokal pipa. Sehingga dimensi support model F SPS 60/100 untuk pipeline 14 inch dapat dilihat pada gambar dibawah ini.





Gambar 6. Drawing Pyramid Pipeline Support

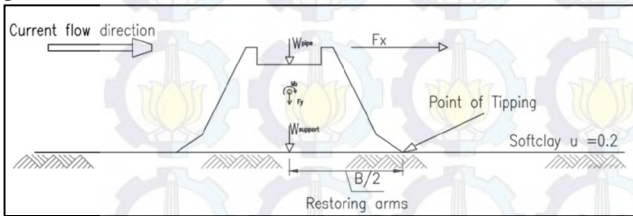
Dengan rincian dimensi (mm) sebagai berikut :

Tabel 8. Dimensi Pyramid Pipeline Support

MODEL	Top Width A	Formwork Height B	Support Length C	Maximum Support height D	Formwork Base E	Base Height F	Gap stopper-pipe G
F SPS 60/100	1000	1200	1200	1000	2600	200	157

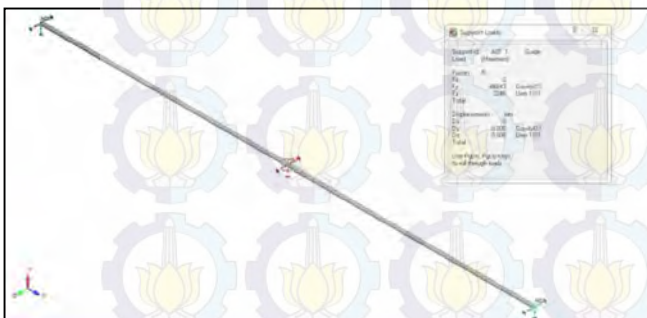
F. Analisa Stabilitas Support

Pada stabilitas support ini mencakup Overturning momen dan sliding force dengan menggunakan persamaan 16 dan 17. Adapun mechanical model pada support dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 7. Mechanical Model Support

Dari mechanical model digunakan sebagai acuan dalam perhitungan stabilitas. Hasil perhitungan ditampilkan pada tabel 23. Selanjutnya pyramid support dimodelkan dengan free span 50 m yang ditopang diatasnya pada kedalaman 55 m. Pemodelan ini bertujuan untuk mengetahui gaya yang diterima oleh support akibat beban pipa dan lingkungan. Gaya ini kan digunakan untuk menghitung stabilitas.



Gambar 8. Pemodelan Free Span dan Support pada Auto PIPE V8i

Dari hasil pemodelan didapatkan bahwa support mengalami beban horizontal sebesar 3,246 kN dan beban vertikal sebesar

66.84 kN. Selanjutnya hasil ini akan digunakan dalam perhitungan sebagai gaya vertikal dan gaya horizontal dalam stabilitas support.

G. Overturning moment

Perhitungan Overturning moment dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan 16 sehingga hasilnya seperti tabel dibawah ini.

Tabel 9. Perhitungan Overturning Moment

Parameter	Satuan	Simbol	Nilai
Overturning Moment	kN.m	Mo	27.98
Resisting Moment	kN.m	Mr	143.9
Rasio Mo/Mr		SF <sub>1</sub>	5.143

Overturning moment pada support dikatakan aman apabila rasio antara Resisting Momen dan Overturning Moment lebih dari 1.5. Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa support aman dari overturning moment.

H. Sliding Force

Perhitungan sliding force dapat menggunakan Persamaan 17 dan hasilnya dapat dilihat seperti tabel dibawah ini.

Tabel 10. Perhitungan Sliding Force

Parameter	Satuan	Simbol	Nilai
Drag Force	kN	F <sub>d st</sub>	1.532
Inertia Force	kN	F <sub>i st</sub>	18.29
Wave Load on Support	kN	F <sub>w st</sub>	19.82
Horizontal Load AutoPIPE	kN	F <sub>z</sub>	3.246
Total Horizontal Force	kN	F <sub>hor st</sub>	21.53
Total Vertical load	kN	F <sub>v</sub>	110.7
Friction coeficient Clay		μ	0.2
Vertical Load with friction	kN	F <sub>hor</sub>	38.748
Rasio F <sub>hor</sub> /F <sub>st</sub>		SF <sub>2</sub>	1.8

Support aman dari sliding force apabila rasio antara total gaya vertikal dengan total gaya horizontal lebih dari 1.5 sehingga dari hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa support aman dari sliding force.

I. Bearing Capacity

Perhitungan daya dukung tanah perlu dilakukan untuk mengetahui apakah tanah pada seabed mampu menahan beban diatasnya yang pada tugas akhir ini adalah support dan pipa. Adapun hasil perhitungan daya dukung tanah dijelaskan pada tabel dibawah ini.



**Tabel 10.** Perhitungan *Bearing Pressure*

Parameter	Satuan	Simbol	Nilai
<i>Moment at base support</i>	kNm	$M_{base}$	15.939
<i>Ecentricity</i>	mm	e	143.974
<i>Total Vertical load</i>	kN	$F_y$	110.7
<i>Bearing Pressure at Base Support</i>	kPa	$P_{base}$	3.773
<i>Unity Check</i>		$P_{base}/SBC$	0.905

Unity check yang menunjukkan perbandingan antara bearing pressure dan kapasitas daya dukung tanah sebesar 0.905 menunjukkan bahwa kapasitas daya dukung tanah lebih besar daripada bearing pressure sehingga support dapat dikatakan aman. Namun perlu diketahui besar settlement yang terjadi.

**J. Settlement**

Support yang ditempatkan pada kondisi tanah softclay tentu akan mengalami penurunan. Perhitungan Settlement ini menggunakan Persamaan 20. Hasil perhitungan dari settlement dijelaskan pada tabel dibawah ini.

**Tabel 11.** Perhitungan *Bearing Pressure*

Parameter	Satuan	Simbol	Nilai
<i>Intensity of Contact Pressure</i>	kPa	$P_{base}$	3.772
<i>Bottom Width</i>	m	B	2.6
<i>Influence factor</i>		$I_e$	0.82
<i>Layer 1 : Very Softclay</i>	<i>Poisson ratio</i>	$\eta$	0.3
	<i>Elastic Modulus softclay</i>	MPa	$E_s$
<i>Settlement Layer 1</i>	mm	$S_{s1}$	3.61
<i>Layer 2 : Softclay</i>	<i>Poisson ratio</i>	$\eta$	0.3
	<i>Elastic Modulus softclay</i>	MPa	$E_s$
<i>Settlement Layer 2</i>	mm	$S_{s2}$	1.444
<i>Total Settlement</i>	mm	$S_s$	5.054

Dari hasil perhitungan settlement diatas bahwa settlement yang terjadi pada kondisi tanah softclay adalah sebesar 5.054 mm atau sekitar 0.5 cm.

Rektifikasi *free span* menggunakan acuan keandalan yang telah dibahas untuk menentukan panjang *free span* maksimum. Namun dengan melihat peta scouring yang terdapat pada sepanjang pipa maka seorang *engineer* harus dapat memutuskan daerah yang dianggap kritis akan *scouring*. Kritis dalam hal ini dimaksudkan bahwa *seabed* dalam jangka panjang akan mengalami *scouring* sehingga harus diperhitungkan. Jumlah support yang akan digunakan dalam suatu daerah kritis tergantung kepada panjang daerah yang dianggap kritis. Untuk menentukan jumlah support yang digunakan dapat menggunakan persamaan dibawah ini.

$$n = \frac{S}{25}$$

dengan :

n = jumlah support

S = panjang scouring dan kritis (m)

**IV. KESIMPULAN/RINGKASAN**

Dari analisa beberapa perhitungan yang dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan mengenai analisa *free span* pipa pada *Maleo Field*. Kesimpulan tersebut diantaranya:

- Indeks keandalan *free span* yang dapat diterima oleh industri adalah panjang *free span* yang lebih kecil dari 30 m tetapi panjang *free span* yang kurang sama dengan 25 m memiliki indeks keandalan yang konstan sehingga ditetapkan panjang *free span* maksimum yang dipakai dalam rektifikasi adalah 25 m.
- Tipe support yang digunakan untuk rektifikasi adalah piramid dengan perhitungan stabilitas yang telah dilakukan menunjukkan bahwa support aman terhadap *overturning momen, sliding force, bearing, settlement*.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Bai, Yong. 2001. *Pipeline and Riser*. Elsevier Ocean Engineering book Series. London
- [2] Bowles, J. E. 1988. *Foundation Analysis and Design*. McGraw-Hill. New York.
- [3] Chakrabarti, S.K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures*. CBI Industries, Inc. Plainfield.
- [4] Det Norske Veritas. 2000. DNV OS F101: *Submarine Pipeline System*. Norway
- [5] Det Norske Veritas. 2006. DNV RP F105: *Free Spanning Pipelines*. Norway
- [6] Det Norske Veritas. 1997. DNV 1997: *Rules for Design Construction and Inspection of Offshore Structure*. Norway.
- [7] Febrian, D. 2013. *Perbandingan Analisa Free Span Menggunakan Dnv Rp F-105 "Freespanning Pipeline" Dengan Dnv 1981 "Rule For Submarine Pipelines System*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan. ITS. Surabaya
- [8] Guo, B. dan J. Chacko. 2005. *Offshore Pipelines*. Elsevier Ocean Engineering Series. New York.
- [9] Kenny, J.P.1993. *Structural Analysis of Pipeline Spans*. Safety Executive. Washington DC.
- [10] Mouselli A.H.1981. *Offshore Pipeline Design Analysis and Method*. PenWell Books. Oklahama
- [11] Pamayo, A. *Analisis Fatigue Akibat VIV Pada Freespan Pipa Bawah Laut*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan. ITS. Surabaya.
- [12] Rosyid, D.M.. 2007. *Pengantar Rekayasa Keandalan*. Airlangga University Press. Surabaya.
- [13] Terzaghi, K. 1943. *Theoretical Soil Mechanics*. J. Wiley and Sons, inc. New York.