

ANALISIS BENTANG BEBAS PIPA PENYALUR BAWAH LAUT DENGAN MEMPERHITUNGGAN INTERAKSI STRUKTUR-TANAH

Karya: Mochammad Imron

Teknik Kelautan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

Email: Mochammadimron1992@gmail.com

Pembimbing: Prof. Dr. Ir. Ricky Lukman Tawekal

Email: Ricky@ocean.itb.ac.id

Kebutuhan energi merupakan salah satu kebutuhan pokok yang wajib di penuhi oleh masing-masing anggota negara. Salah satu jenis energi yang saat ini masih menjadi pilihan utama untuk memenuhi kebutuhan masyarakat adalah minyak dan gas. Kegiatan untuk mendapatkan minyak dan gas ini dinamakan eksplorasi. Terdapat beberapa hal yang harus dilakukan sebelum kegiatan ini dilakukan. Salah satunya adalah proses desain. Proses desain ini terdiri dari beberapa langkah, antara lain pemilihan tebal pipa, pemilihan tebal beton untuk stabilitas pipa saat dibawah laut, metode instalsi pipa dan analisa *free span*. Dengan begitu pentingnya proses ini dilakukan, maka dalam tugas akhir ini akan dibahas terkait proses desain tersebut. Untuk pemilihan tebal pipa sendiri kode yang digunakan adalah kode API RP 1111 dan ASME B31.8. Sedangkan perhitungan kestabilan pipa pada kondisi di atas *seabed* untuk mendapatkan berat *concrete coating* yang sesuai dan tidak menyebabkan pipa mengalami pergerakan arah vertikal maupun horizontal secara signifikan membandingkan kode DNV RP E305. Kemudian analisis instalasi metode S-Lay dengan data *barge* dan *stinger* yang diberikan dengan menggunakan perangkat lunak OFFPIPE. Akan ditentukan konfigurasi *barge* agar dapat menggelar pipa sesuai dengan kriteria tegangan yang diijinkan. Hal terakhir yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah memaparkan dan menganalisa secara statis maupun dinamik bentang bebas maksimum pipa bawah laut dengan menggunakan DNV 1981 serta membandingkan hasil tersebut dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS. Selain itu juga dalam tugas akhir ini juga dimodelkan tumpuan *fixed* dalam bentuk tanah.

Kata kunci: Minyak, gas, Proses desain, Tebal pipa, Tebal beton, Metode S-lay, Statik *Free span*, Dinamik *Free Span*, ANSYS, pemodelan tanah.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hal penting dalam eksplorasi minyak maupun gas adalah kegiatan penyaluran atau pengangkutan gas dan minyak sendiri. Kegiatan pengangkutan migas adalah kegiatan

pemindahan minyak bumi, gas bumi dan atau hasil olahan dari wilayah kerja atau dari tempat penampungan dan pengolahan, termasuk pengangkutan gas bumi melalui pipa transmisi dan distribusi. Terdapat beberapa metode yang dapat dilakukan untuk mengalir dan mengangkut minyak, salah satunya adalah dengan cara menggunakan pipa, atau biasa dikenal dengan pipeline.

Terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan sebelum pemakaian pipa ini sebagai sara transportasi minyak maupun gas. Hal pertama yang harus dilakukan adalah proses desain pipa itu sendiri. Dengan mengingat kondisi lingkungan yang akan dihadapi oleh pipa nantinya, proses ini dinilai sangat penting dalam keberlangsungan eksplorasi dan eksploitasi.

Beberapa proses desain yang biasa dilakukan adalah perancangan tebal dinding pipa, tebal beton pemberat pipa, kelayakan saat instalasi dan panjang bentang maksimum yang dapat dipikul pipa atau biasa dikenal dengan *free span*. proses analisa bentang bebas pipa ini dinilai sangat penting karena akan berakibat terjadinya buckling jika terjadi kesalahan desain mengingat kontur tanah yang tidak rata. Terdapat beberapa analisa yang dapat dilakukan untuk bentang bebas pipa ini, diantaranya adalah analisa static, dinamik dan fatigue. Oleh sebab itu proses desain pipa yang nantinya lebih difokuskan dalam analisa bentang bebas pipa ini sangat menarik untuk dibahas.

1.2 Pemilihan Ketebalan Pipa

a. *Internal Pressure Containment ASME B31.8*

Metode perhitungan internal pressure containment ASME B31.8 adalah sebagai berikut:

- Hitung $(P_i - P_g)$ untuk kondisi yang ditinjau, apabila didapatkan nilai negatif, *internal pressure containment* dapat diabaikan.
- Hitung nilai t dengan formula di bawah ini:

$$t = \frac{(P_i - P_g)D}{2.S.F.E.T} \quad (1)$$

Keterangan:

$$P_g = \rho gh \quad (2)$$

- o h = kedalaman perairan
- o P_e = tekanan eksternal = ρgh
- o P_i = Tekanan desain tekanan desain (kondisi operasi); tekanan hidrotas (kondisi hidrotas)
- o D = diameter luar pipa
- o S = SMYS

b. Internal Pressure (Burst) Design API RP 1111

Metode perhitungan internal pressure containment API RP 1111 sebagai berikut:

- i. Hitung P_t dengan

$$P_t \leq f_d f_t f_s P_b \quad (3)$$

Jika $P_i < P_e$, nilai P_a akan negatif sehingga perhitungan ketebalan dengan memperhitungkan IPC dapat diabaikan.

- ii. Nilai t didapatkan melalui iterasi menggunakan formula P_b berikut :

$$P_b = 0.90(S + U) \frac{t}{(D-t)} \quad (4)$$

- iii. Nilai t hasil iterasi dan nilai P_b yang merupakan fungsi dari t tetap harus memenuhi persamaan berikut ini :

$$P_t \leq f_d f_t f_s P_b \quad (5)$$

$$P_d \leq 0.80 P_t \quad (6)$$

$$P_a \leq 0.90 P_t \quad (7)$$

- o F_d = internal pressure design factor = 0.9 untuk pipelines = 0.75 untuk pipeline risers
- o F_e = weld joint factor (lihat pada ketentuan dari ASME B31.8 – hanya material yang factor = 1.0 yang diterima/digunakan)
- o F_t = internal pressure design factor = temperature derating factor (ASME B31.8)
- o P_a = specified minimum burst pressure (psi)
- o P_b = specified minimum burst pressure of pipe (psi)
- o P_d = pipeline design pressure (psi)
- o P_t = hydrostatic test pressure (psi)

c. Metode perhitungan Collapse Due to External Pressure API RP 1111

Metode perhitungan Collapse Due to External Pressure API RP 1111 adalah sebagai berikut:

- i. Hitung perbedaan antara tekanan internal dan tekanan eksternal.

$$P = P_i - P_e \quad (8)$$

Jika $P_i < P_e$, nilai P akan negatif sehingga perhitungan ketebalan dengan memperhitungkan IPC dapat diabaikan.

- ii. Dengan nilai t yang diiterasi, hitung P_y , P_e , dan P_c dengan formula berikut :

$$P_y = 25 \left(\frac{t}{D} \right) \quad (9)$$

$$P_e = 2E \frac{\left(\frac{t}{D} \right)^3}{(1 - \nu^2)} \quad (10)$$

$$P_c = \frac{P_y P_e}{\sqrt{P_y^2 + P_e^2}} \quad (11)$$

- iii. Nilai t hasil iterasi harus memenuhi persamaan :

$$P_e - P_i \leq f_o P_c \quad (12)$$

Dimana:

- o f_o = collapse factor
- o P_c = collapse pressure of pipe
- o P_e = elastic collapse pressure of pipe
- o P_o = external hydrostatic pressure
- o P_y = yield pressure at collapse
- o ν = poisson's ratio (0.3 for steel)

d. Propagating Buckles API RP 1111

Metode perhitungan Propagating Buckles API RP 1111 adalah sebagai berikut:

- i. Dengan iterasi nilai t, hitung P_p dengan formula di bawah ini :

$$P_p = 245 \left(\frac{t}{D} \right)^{2.4} \quad (13)$$

- ii. Nilai t hasil iterasi harus memenuhi persamaan di bawah ini :

$$P_o - P_i \geq f_p P_p \quad (14)$$

1.3 Perhitungan On Bottom Stability

Analisis on-bottom stability pada tugas akhir dibatasi hanya pada analisis dengan menggunakan standar DNV RP E305. Tujuan akhir dari analisa on bottom stability adalah untuk menentukan berat tenggelam yang dibutuhkan pipa agar memenuhi kriteria kestabilan pipa di bawah laut. Analisis on-bottom stability pada DNV RP E305 terbagi menjadi analisis stabilitas vertikal dan analisis stabilitas lateral.

a. Analisis Stabilitas Vertikal

Kesetimbangan gaya vertikal diuraikan sebagai berikut

$$\sum F_y = 0 \quad (15)$$

$$N + F_L - W \cos \theta_s = 0 \quad (16)$$

$$N = W \cos \theta_s - F_L \quad (17)$$

Sehingga kestabilan vertikal pipa akan tercapai jika berat pipa terendam (pipe submerged weight) memenuhi kriteria berikut

$$\frac{W_s + B}{B} \geq 1.1 \quad (18)$$

dengan

- W_s = berat terendam pipa
- B = gaya apung (buoyancy)

b. Analisis Stabilitas Lateral

Dapat dilihat kembali pada persamaan dibawah ini, kesetimbangan gaya-gaya pada arah horizontal adalah

$$\sum F_x = 0 \tag{19}$$

$$F_D + F_I - F_r - W \cos \theta_s = 0 \tag{20}$$

F_r merupakan tahanan geser lateral pada pipa yang sedang berada dipermukaan dasar laut. Jika μ adalah faktor gesekan (*friction factor*) maka F_r dapat dihubungkan dengan gaya normal melalui persamaan berikut

$$F_r = \mu N \tag{21}$$

Persamaan kesetimbangan pada arah horizontal kemudian dapat diturunkan sebagai berikut

$$F_D + F_I - \mu(W \cos \theta_s - F_L) = W \sin \theta_s \tag{22}$$

$$W = \frac{F_D + F_I + \mu F_L}{\mu \cos \theta + \sin \theta_s} \tag{23}$$

Untuk kondisi dasar laut dengan kemiringan nol ($\theta = 0$), maka berat minimum pipa yang dibutuhkan dibawah air adalah

$$W = \frac{F_D + F_I + \mu F_L}{\mu} \tag{24}$$

1.4 Perhitungan Free span

Analisis statik berhubungan dengan tegangan yang dialami pipa akibat unsupported section pada bagian tersebut. Pada bagian unsupported berat sendiri pipa dan berat serta tekanan konten akan menjadi beban utama yang dapat menyebabkan local buckling.

Bending stress maksimum yang dialami pipa berdasarkan metode *quasi-static* ditentukan dengan:

$$\sigma_x(L) = \frac{WLD_{total}}{2CI} + \frac{(Pd - Pe)D}{4t} \tag{25}$$

dimana:

- L = panjang *free-span (allowable static free-span)*
- D_{total} = diameter keseluruhan pipa (termasuk *coatings*)
- C = konstanta perletakan (bernilai 8 untuk sendi-sendi, bernilai 10 untuk sendi-jepit, dan bernilai 12 untuk jepit-jepit)
- I = momen inersia pipa baja
- W = berat submerged
- P_d = tekanan desain
- P_e = tekanan eksternal
- t = tebal pipa

Dengan tekanan hoop stress adalah

$$\sigma_h(L) = \frac{(Pd - Pe)D}{2t} \tag{26}$$

- P_d = tekanan desain
- P_e = tekanan eksternal
- t = tebal pipa
- D = diameter total

Dalam analisa ini akan dilakukan perhitungan ekuivalen von mises, dengan nilai σ_e adalah *equivalent stress*:

$$\sqrt{\sigma_x(L)^2 + (\sigma_h(L))^2} \tag{27}$$

Dengan

- $\sigma_x(L)$ = tekanan longitudinal
- $\sigma_h(L)$ = tekanan hoop stress

Untuk tipe osilasi *cross-flow*, nilai *critical span length* dihitung sebagai berikut:

$$L_{cr} := \sqrt{\frac{C_1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{E_{st} \cdot I_{st}}{m_{eff}} \cdot \frac{D_{tot} \cdot V_r}{(U_w + U_c)}} \tag{28}$$

Keterangan:

- L_{cr} = panjang critical allowable free-span dinamik
- m_e = massa efektif
- C_1 = konstanta, bernilai π^2 atau 9.87 untuk kondisi syarat batas sendi-sendi dan bernilai 22 untuk kondisi syarat batas jepit-jepit. Untuk sendi-jepit diambil 15.5.
- E_{st} = modulus elastisitas pipa baja
- I_{st} = momen inersia pipa baja
- D_{total} = diameter keseluruhan pipa
- V_r = *reduced velocity*
- U_{cw} = kecepatan *steady current* U_c + *wave-induced velocity* U_w

II. HASIL DAN ANALISIS

2.1 Hasil Perhitungan Tebal Pipa

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa perhitungan tebal pipa bawah laut dihitung dengan menggunakan dua kode, berikut hasil perhitungan.

Tabel 1 Hasil perhitungan tebal pipa bawah laut

Kriteria	Kondisi	Kode	
		ASME B31.8	API RP 1111
		Wall Thickness (mm)	
Internal Pressure Containment	Instalasi	-	2.919
	Hidrotes	3.713	2.919
Collapse due to	Operasi	2.955	5.459
	Instalasi	1.5362	1.5362
	Hidrotes	-	-

External Pressure	Operasi	-	-
Buckling Propagation	Instalasi	2.345	2.345
	Hidrotes	-	-
	Operasi	-	-
Selected Wall Thickness	5.459 mm		
Selected wall thickness (based on API 5L criteria)	$5.459 + (0.125 \times 5.459) = 6.141375$ mm		

Namun dalam project sudah di desain wall thickness dengan ketebalan 0.432in. Artinya jika di bandingkan dengan wall thickness yang dilakukan dalam perhitungan, maka wall thickness yang digunakan dalam proyek PHE ONWJ ini lebih aman.

2.2 Hasil On Bottom Stability

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa perhitungan tebal pipa bawah laut dihitung dengan menggunakan dua kode, berikut hasil perhitungan

Tabel 2 Tabel Hasil perhitungan *on bottom stability*

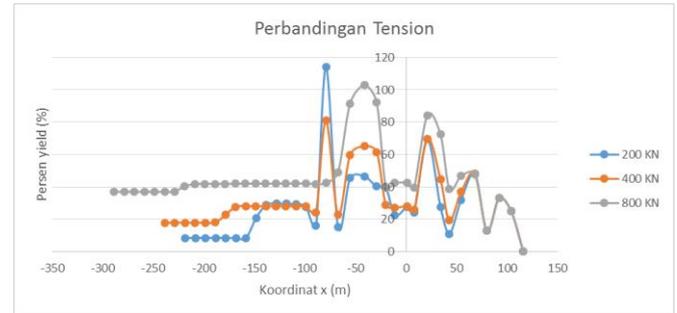
Metode	Tebal Lapisan Beton (stabil Lateral dan Vertikal)	
	Instalasi	Operasi
DNV RP E305	0.079 in	1.85 in
Tebal	1.85 in	

Jika dibandingkan, hasil perhitungan ketebalan lapisan beton dari pada kondisi operasi dan instalasi memberikan nilai yang berbeda. Oleh karena itu, akan diambil nilai ketebalan pipa yang paling konservatif, yaitu nilai yang paling besar, 1.85 in yang didapat dari kondisi operasi.

2.3 Hasil Instalasi S-lay

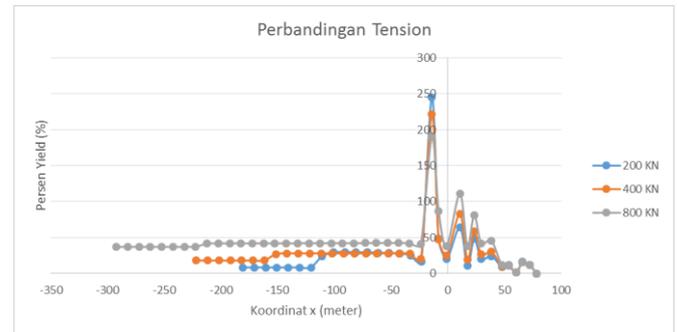
Pada penentuan instalasi metode S-lay ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak yang bernama Offpipe. Terdapat beberapa parameter yang akan di input pada perangkat lunak tersebut. Dari beberapa parameter tersebut, terdapat beberapa parameter yang nantinya akan di ubah sehingga dapat menghasilkan konfigurasi kapal yang paling efektif.. parameter yang dimaksud antara lain, tension, sudut hitch dan sudut trim. Kapal yang digunakan dalam hal ini adalah kapal kuroshio II, kalinda dn swiber. Berikut hasil dari perhitungan instalasi dengan menggunakan perangkat lunak offpipe.

Untuk lebih jelas dalam membandingkan besaran persen yield yang dihasilkan berdasarkan besar tension tensioner, dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



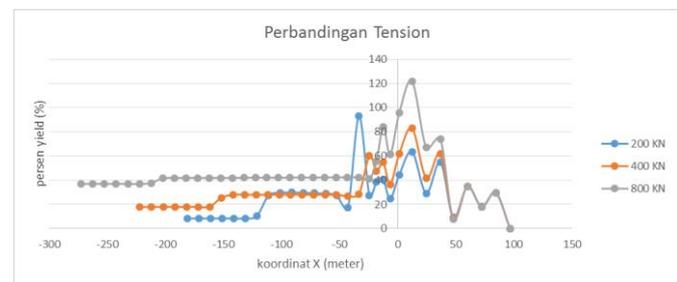
Gambar 1 Perbandingan Tension barge Kuroshio II

Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa besar tension yang paling efektif diberikan tensioner pada proses instalasi adalah sebesar 400 KN.



Gambar 2 Perbandingan tension barge kalinda

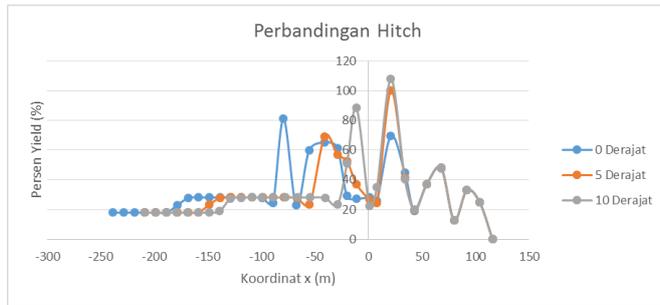
Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa besar tension yang paling efektif diberikan tensioner pada proses instalasi adalah sebesar 800 KN.



Gambar 3 Perbandingan tension barge Swiber Resolute

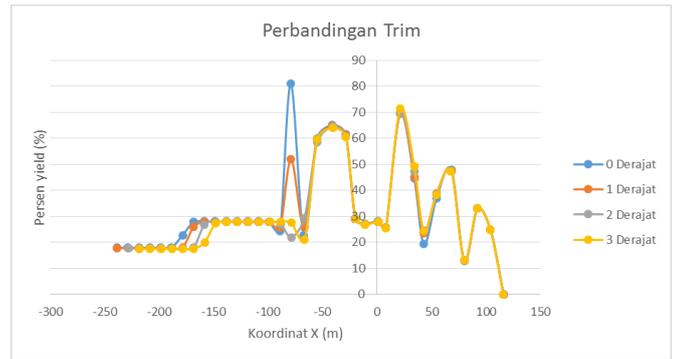
Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa besar tension yang paling efektif diberikan tensioner pada proses instalasi adalah sebesar 400 KN.

Untuk lebih jelas dalam membandingkan besaran persen yield yang dihasilkan berdasarkan besar sudut hitch, dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



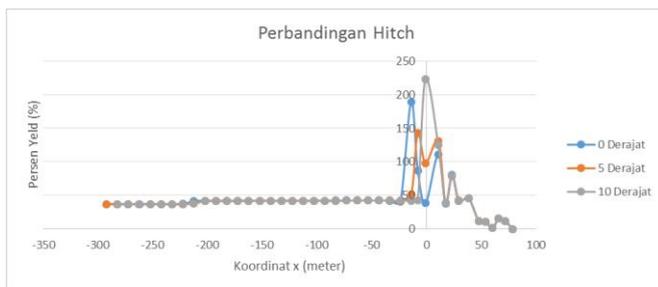
Gambar 4 Perbandingan Hitch barge kuroshio II

Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa besar sudut hich yang paling efektif diberikan pada proses instalasi adalah sebesar 0 derajat.



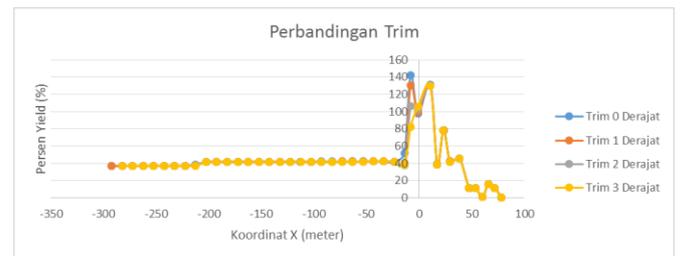
Gambar 7 Perbandingan trim barge kuroshio II

Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa besar sudut trim yang paling efektif diberikan pada proses instalasi adalah sebesar 1 derajat.



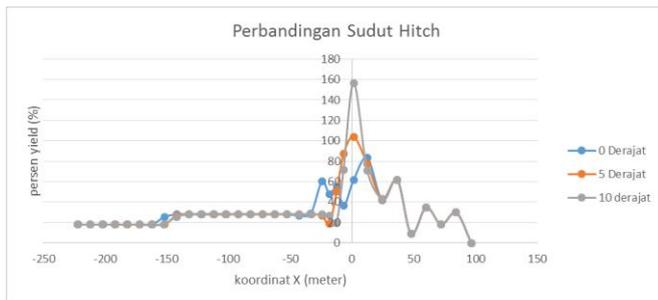
Gambar 5 Perbandingan hitch barge kalinda

Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa besar sudut hich yang paling efektif diberikan pada proses instalasi adalah sebesar 0 derajat.



Gambar 8 perbandingan trim barge kalinda

Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa besar sudut trim yang paling efektif diberikan pada proses instalasi adalah sebesar 3 derajat.



Gambar 6 Perbandingan hitch pada barge Swiber Resolute

Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa besar sudut hich yang paling efektif diberikan pada proses instalasi adalah sebesar 0 derajat.



Gambar 9 Perbandingan trim barge Swiber Resolute

Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa besar sudut trim yang paling efektif diberikan pada proses instalasi adalah sebesar 3 derajat.

Untuk lebih jelas dalam membandingkan besaran persen yield yang dihasilkan berdasarkan besar sudut trim, dapat dilihat pada grafik dibawah ini:

2.4 Hasil Statik *free span*

Analisis ini berhubungan dengan tegangan yang dialami pipa akibat *unsupported section* pada bagian tersebut. Pada bagian *unsupported* berat sendiri pipa dan berat serta tekanan konten akan menjadi beban utama yang dapat menyebabkan local buckling.

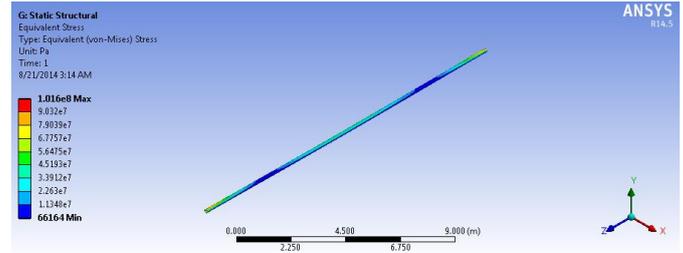
Tabel 3 Hasil perhitungan static free span

Pipe submerged weight	$W_{sub} := W_{st} + W_{corr} + W_{cc} + W_{cont.op} - B = 83.288 \frac{kg}{m}$
Konstanta tumpuan	12
Longitudinal stress	$\sigma_x(Lcrit(L)) = 2.695 \times 10^8 Pa$
Hoop stress	$\sigma_h := \frac{(P_d - P_e) \cdot OD}{2 \cdot t_s} = 6.952 \times 10^7 Pa$
Von Mises	$\sigma_e := \sqrt{\sigma_x(Lcrit(L))^2 + \sigma_h^2} = 2.783 \times 10^8 Pa$
Critical pipesep-an-static loading	$Lcrit(L) = 25 m$
Longitudinal stress span dinamik	$\sigma_{x,allow} := \left[\frac{W_{sub} \cdot L_{allow}^2 \cdot 0.5 \cdot OD \cdot g}{C \cdot I_{st}} \right] + \left[\frac{(P_d - P_e) \cdot OD}{4 \cdot t_s} \right] = 1.342 \times 10^8 Pa$
Hoop stress span dinamik	$\sigma_{h,allow} := \frac{(P_d - P_e) \cdot OD}{2 \cdot t_s} = 6.956 \times 10^7 Pa$
Von Mises span dinamik	$\sigma_{e,allow} := \sqrt{\sigma_{x,allow}^2 + \sigma_{h,allow}^2} = 1.511 \times 10^8 Pa$

Dalam analisa free span kali ini, selain memakai standar DNV 1981, analisa juga dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS, untuk lebih tepatnya adalah ANSYS workbench. ANSYS Workbench adalah salah satu perangkat lunak berbasis metode elemen hingga yang dipakai untuk menganalisa masalah-masalah rekayasa (engineering). ANSYS Workbench menyediakan fasilitas untuk berinteraksi antar solvers armon ANSYS. Terdapat beberapa failitas perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan ANSYS ini, untuk analisa statis ini, digunakan fasilitas static structural. Berikut hasil dari perhitungan dengan menggunakan ANSYS.

Tabel 4 Hasil Statik ANSYS tumpuan fixed

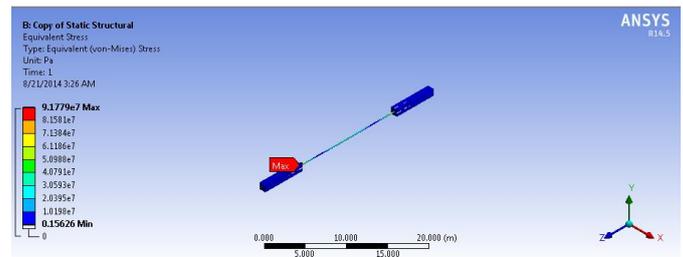
Object Name	Equivalent Stress	Shear Stress
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	
Results		
Minimum	66164 Pa	-1.1235e+007 Pa
Maximum	1.016e+008 Pa	1.1304e+007 Pa
Information		
Time	1. s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	



Gambar 10 Hasil Stress static tumpuan fixed

Tabel 5 Hasil statik ANSYS tumpuan tanah

Object Name	Equivalent Stress	Total Deformation
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	
Results		
Minimum	0.15626 Pa	0. m
Maximum	9.1779e+007 Pa	4.4194e-002 m
Minimum Occurs On		Solid
Maximum Occurs On		Solid
Information		
Time		1. s
Load Step		1
Substep		1
Iteration Number		1



Gambar 11 Hasil stress ANSYS tumpuan tanah

2.5 Hasil Dinamik *free span*

Secara sederhana 'dinamik' dapat diartikan sebagai variasi atau perubahan terhadap waktu dalam konteks gaya yang bekerja (eksitasi) pada struktur. Beban dinamis dapat berupa variasi besarnya (magnitude), arahnya (direction) atau posisinya (point of application) berubah terhadap waktu. Demikian pula respons struktur terhadap beban dinamik, yaitu lendutan dan tegangan yang dihasilkan juga perubahan-waktu, atau bersifat dinamik. Berikut hasil perhitungan dengan menggunakan kode DNV 1981

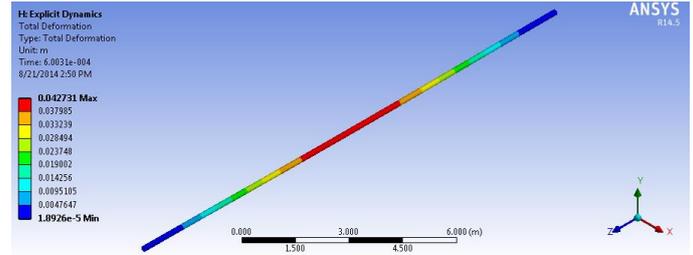
Tabel 6 Perhitungan dinamik *freespan*

Penghitungan <i>Critical Span Length</i>	
Massa efektif	$m_{eff} := W_{st} + W_{corr} + W_{cc} + W_{cont.op} + B = 200.90 \frac{kg}{m}$
Parameter stabilitas	$K_s := \frac{2 \cdot m_{eff} \cdot \delta}{\rho_{sw} \cdot D_{tot}^2} = 0.676$
Bilangan Reynold	$R_e := \frac{(U_w + U_c) \cdot D_{tot}}{\nu} = 2.281 \times 10^5$
Tipe osilasi	osc_type = "in-line oscillation, Symmetrical"
Kecepatan tereduksi	$V_r = 1.8$ (Gambar 7.1)
Bilangan Strouhal	$S_t = 0.1$ (Gambar 7.2)
Frekuensi alamiah vortex	$f_v := \frac{S_t \cdot (U_w + U_c)}{D_{tot}} = 0.603 \frac{1}{s}$
<i>Critical span length</i>	$L_{cr} := \frac{C_1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{E_{st} \cdot I_{st}}{m_{eff}}} \cdot \frac{D_{tot} \cdot V_r}{(U_w + U_c)} = 16.269m$
Pengecekan Frekuensi Natural	
Frekuensi alamiah span	$f_{ns} := \frac{C_1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{E_{st} \cdot I_{st}}{m_{eff}}} = 1.674 \frac{1}{s}$
Kriteria frekuensi natural	freq_check := "OK" if $f_{ns} \neq f_v$ "not OK" otherwise
Hasil	freq_check = "OK"

Dalam analisa free span kali ini, selain memakai standar DNV 1981, analisa juga dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS, untuk lebih tepatnya adalah ANSYS workbench. ANSYS Workbench adalah salah satu perangkat lunak berbasis metode elemen hingga yang dipakai untuk menganalisa masalah-masalah rekayasa (engineering). ANSYS Workbench menyediakan fasilitas untuk berinteraksi antar solvers famili ANSYS. Terdapat beberapa failitas perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan ANSYS ini, untuk analisa dinamik ini, digunakan fasilitas explicit dynamic.

Tabel 7 Hasil perhitungan dinamik ANSYS tumpuan fix

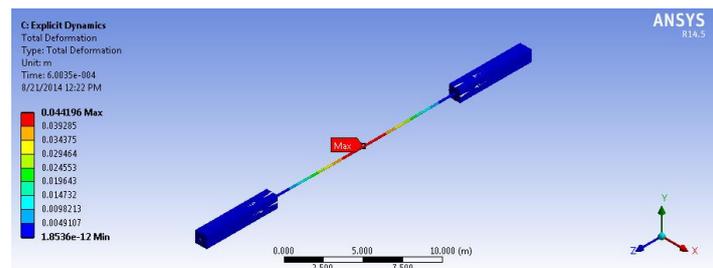
Object Name	Equivalent Stress	Total Deformation	Total Velocity	Total Acceleration
Results				
Minimum	2.4373e+005 Pa	1.8926e-005 m	4.0636e-003 m/s	167.96 m/s ²
Maximum	2.0438e+007 Pa	4.2731e-002 m	0.81638 m/s	56136 m/s ²
Minimum Value Over Time				
Minimum	17122 Pa	0. m	0. m/s	0. m/s ²
Maximum	6.4193e+005 Pa	1.8926e-005 m	1.582e-002 m/s	1528.8 m/s ²
Maximum Value Over Time				
Minimum	1.9914e+007 Pa	4.2731e-002 m	0. m/s	0. m/s ²
Maximum	5.9031e+007 Pa	4.2735e-002 m	1.1762 m/s	3.505e+005 m/s ²
Information				
Time	6.0031e-004 s			
Set	21			



Gambar 12 Hasil deformasi tumpuan fixed

Tabel 8 Hasil perhitungan dinamik tumpuan tanah

Object Name	Equivalent Stress	Total Deformation	Total Velocity	Total Acceleration
Definition				
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation	Total Velocity	Total Acceleration
Results				
Minimum	0.19083 Pa	1.8536e-012 m	0. m/s	0. m/s ²
Maximum	1.6242e+007 Pa	4.4196e-002 m	0.18301 m/s	12301 m/s ²
Minimum Occurs On	Solid			
Maximum Occurs On	Solid			
Minimum Value Over Time				
Minimum	0.19083 Pa	0. m	0. m/s	0. m/s ²
Maximum	0.19083 Pa	1.8536e-012 m	0. m/s	0. m/s ²
Maximum Value Over Time				
Minimum	1.6061e+007 Pa	4.4194e-002 m	0. m/s	0. m/s ²
Maximum	4.1815e+007 Pa	4.4198e-002 m	0.55506 m/s	1.7589e+005 m/s ²
Information				
Time	6.0035e-004 s			
Set	21			



Gambar 13 Hasil deformasi tumpuan tanah

Pada kasus ini gerakan harmonic tergolong gerakan system tak teredam paksa dengan beban berbasis gelombang harmonic $F(t)=F \cdot \cos(\psi t)$. Dengan ψ adalah frekuensi gaya luar dalam hal ini adalah arus VIV. Solusi umum dari persamaan ini adalah sebagai berikut

$$U = A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t) + \frac{F}{K} \frac{1}{1-\beta^2} \sin \psi t \quad (29)$$

Dimana:

- ω : frekuensi natural pipa
- k: kekakuan pipa
- ψ : Frekuensi natural arus VIV
- F: Gaya luar awal

$$\beta = \frac{\psi}{\omega} \quad (30)$$

- $A = U_0 =$ Deformasi awal

$$B = \frac{F}{K} \frac{1}{1-\beta^2} \beta \quad (31)$$

Tabel 9 Besar Parameter

Parameter	Besar	Satuan
ω	10.517	rad/s
k	733.053	N/m
ψ	3.786	rad/s
F	1345	N
β	0.359989	

Berikut hasil perhitungan dinamik secara analitik

Tabel 10 Hasil perhitungan analitik dinamik tumpuan fixed

Time [s]	Analitik	ERROR [%]
1.18E-38	4.27E-02	0.00E+00
3.00E-05	4.28E-02	1.92E-01
6.00E-05	4.29E-02	4.02E-01
9.01E-05	4.30E-02	5.95E-01
1.20E-04	4.31E-02	7.98E-01
1.50E-04	4.32E-02	9.97E-01
1.80E-04	4.32E-02	1.19E+00
2.10E-04	4.33E-02	1.39E+00
2.40E-04	4.34E-02	1.58E+00
2.70E-04	4.35E-02	1.78E+00
3.00E-04	4.36E-02	1.97E+00

3.30E-04	4.37E-02	2.17E+00
3.60E-04	4.38E-02	2.36E+00
3.90E-04	4.39E-02	2.55E+00
4.20E-04	4.39E-02	2.74E+00
4.50E-04	4.40E-02	2.93E+00
4.80E-04	4.41E-02	3.13E+00
5.10E-04	4.42E-02	3.31E+00
5.40E-04	4.43E-02	3.50E+00
5.70E-04	4.44E-02	3.69E+00
6.00E-04	4.45E-02	3.88E+00
MAX		3.88E+00

Seperti yang dapat dilihat pada table diatas bahwa perbedaan antara perhitungan analitik dan output dari perangkat lunak ANSYS dengan menggunakan tumpuan fix adalah sebesar 3.88%. artinya perbedaan hasil dari kedua nya tidak jauh berbeda. Hal ini dapat dikatakan bahwa pemodelan pada perangkat lunak ANSYS mendekati keadaan sebenarnya

Tabel 11 Perbedaan ANSYS dan analitik tumpuan tanah

Time [s]	Analitik	ERROR [%]
1.18E-38	4.27E-02	3.42E+00
3.04E-05	4.28E-02	3.22E+00
6.06E-05	4.29E-02	3.01E+00
9.08E-05	4.30E-02	2.80E+00
1.21E-04	4.31E-02	2.59E+00
1.51E-04	4.32E-02	2.39E+00
1.80E-04	4.32E-02	2.19E+00
2.10E-04	4.33E-02	1.99E+00
2.41E-04	4.34E-02	1.78E+00
3.90E-04	4.39E-02	7.85E-01
4.20E-04	4.39E-02	5.86E-01
4.51E-04	4.40E-02	3.88E-01
4.81E-04	4.41E-02	1.91E-01
5.11E-04	4.42E-02	5.78E-03
5.41E-04	4.43E-02	2.01E-01
5.70E-04	4.44E-02	3.88E-01
6.00E-04	4.45E-02	5.83E-01
MAX		3.42E+00

III. KESIMPULAN DAN SARAN

3.1 Kesimpulan

- Nilai ketebalan pipa yang paling efektif, 6.141375 mm yang didapat dari kondisi operasi kode API RP 1111 internal pressure.
- Nilai ketebalan beton pipa yang paling konservatif, yaitu nilai yang paling besar, 1.85 in yang didapat dari kondisi operasi.
- Dari ketiga perbandingan yang telah dijelaskan sebelumnya, maka konfigurasi yang paling tepat untuk barge kuroshio II adalah saat tension yang diberikan oleh tensioner sebesar 400 KN , sudut hitch 0 derajat dan trim 1 derajat
- Dari ketiga perbandingan yang telah dijelaskan sebelumnya, maka konfigurasi yang paling tepat untuk barge kalinda adalah saat tension yang diberikan oleh tensioner sebesar 800 KN , sudut hitch 0 derajat dan trim 3 derajat.
- Dari ketiga perbandingan yang telah dijelaskan sebelumnya, maka konfigurasi yang paling tepat untuk barge swiber adalah saat tension yang diberikan oleh tensioner sebesar 400 KN , sudut hitch 0 derajat dan trim 3 derajat
- Hasil tegangan pada perhitungan manual berdasar kode DNV 1981 dan pemodelan pada perangkat lunak ANSYS terdapat sedikit perbedaan. Hal ini dikarenakan pada program ANSYS parameter tekanan hoop stress akibat gaya luar tidak diperhitungkan. Oleh karena itu hasil yang didapat dari perangkat lunak ANSYS lebih kecil dari pada perhitungan dengan menggunakan kode DNV 1981. Selain itu pemodelan tumpuan fixed dengan menggunakan tanah dapat digambarkan dengan tepat dengan pemodelan tanah yang telah dijelaskan sebelumnya. Hal ini terbukti dengan perbedaan stress antar keduanya tidak jauh berbeda
- Perbedaan hasil deformasi antara perhitungan analitik dan hasil dari perangkat lunak ANSYS dengan menggunakan tumpuan tanah adalah sebesar 3.42%. Artinya perbedaan hasil dari keduanya tidak jauh berbeda. Hal ini dapat dikatakan bahwa pemodelan pada perangkat lunak ANSYS mendekati keadaan sebenarnya
- Masa layan struktur pipa berdasarkan perhitungan dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS adalah 31,528 tahun. Hasil ini memiliki perbedaan 0.336 dengan hasil pada manual book yakni 20 tahun.

3.2 Saran

- Pada penghitungan ketebalan pipa, sebaiknya diambil parameter-parameter operasional, seperti beda tekanan desain, yang menghasilkan nilai paling besar untuk masing-masing kondisi supaya hasil perhitungan lebih efektif

- Untuk analisis penentuan ketebalan lapisan beton, sebaiknya digunakan kedalaman desain pada perairan sedang-dalam. Karena bila digunakan kedalaman desain yang relatif dangkal, sekitar < 15 meter, maka akan didapat nilai tebal beton yang sangat besar dan tidak masuk akal. Hal ini disebabkan nilai parameter lingkungan yaitu kecepatan partikel air-terinduksi gelombangnya besar, sehingga untuk mendapatkan kestabilan lateral yang aman akan dibutuhkan tebal lapisan beton yang sangat besar. Umumnya, praktek secara nyata untuk mendapatkan kestabilan pipa pada perairan dangkal (daerah shore approach), akan dilakukan perlakuan khusus terhadap pipa, misal: dikubur atau diberi concrete mass
- Data arus dan gelombang sebaiknya tersedia lengkap dan disesuaikan dengan kondisi kedalaman serta arah orientasi pipa untuk mencegah hasil desain ketebalan beton yang sangat besar dan mendapatkan hasil analisis yang riil

REFERENSI

1. Dean, Robert G. dan Robert A. Dalrymple. 2000. Water wave mechanics for engineer and scientists volume 2. Florida USA. World scientific.
2. American Society of Mechanical Engineers. 1999. ASME B31.4-1998 Edition: Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
3. American Petroleum Institute. 1999. API Recommended Practice 1111: Design, Construction, Operation, and Maintenance of Offshore Hydrocarbon Pipelines (Limit State Design). Washington: API Publishing Services.
4. American Petroleum Institute. 2000. API Specification 5L: Specification for Line Pipe. Washington: API Publishing Services.
5. Det Norske Veritas. 1988. DNV RP E305: On-Bottom Stability Design of Submarine Pipeline. Oslo: Det Norske Veritas.
6. Mouselli, A.H. 1981. Offshore Pipeline Design, Analysis, and Method. Oklahoma U.S.A. PennWell Books edition, in English.
7. Det Norske Veritas. 1982. DNV Rules for Submarine Pipeline Systems 1981. Oslo: Det Norske Veritas.
8. Bai, Yong. 2005. Subsea Pipelines and Risers. Oxford: Elsevier.
9. Kyriakides, Stelios. 2007. Mechanics of Offshore Pipelines Vol. 1: Buckling and Collapse. Oxford: Elsevier.
10. Lee, Jaeyoung, P.E. 2007. Introduction to Offshore Pipelines and Risers. Texas.
11. Det Norske Veritas. 2007. DNV OS F101 Submarine Pipeline Systems. Oslo : Veritas Offshore Technology and Services A/S.
12. Defaradino09043.2014.Pipeline On Bottom stability.[online], (<http://defaradino09043.files.wordpress.com/2013/02/3.jpg>), diakses tanggal 14 agustus 2014)
13. Energy.bu. Oktober 2013,[online],(<http://bu-energy.blogspot.com/2010/10/teknik-pemasangan-pipa-di-dasar-laut.html>), diakses tanggal 14 agustus 2014)