

ANALISA STRUKTUR PENOPANG BENTANG BEBAS PIPA BAWAH LAUT

Bagita dan Ricky

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung,

Jalan Ganesha 10 Bandung 40123

bagita_adi@yahoo.com dan ricky@ocean.itb.ac.id

ABSTRAK

Bentang bebas merupakan salah satu bagian terpenting yang harus diperhatikan dalam perhitungan dan desain pipa bawah laut. Terdapat batas bentang bebas pipa bawah laut baik dalam kondisi statik maupun dinamik. Oleh karena itu perlu dilakukannya tindakan untuk mengurangi dampak dari bentang bebas tersebut. Perhitungan batas bentang bebas menggunakan kode yang telah umum digunakan yaitu DNV (*Det Norske Veritas*). . Studi analisis dilakukan menggunakan data jalur pipa bawah laut Labuhan Maringgai – Muara Bekasi dengan mengecek ketebalan dinding pipa dengan menggunakan DNV OS F101, mengecek kestabilan pipa di dasar laut menggunakan DNV RP E305, mencari panjang bentang bebas izin (statik dan dinamik) menggunakan DNV DNV RP F105. Setelah analisa pipa dilakukan berdasarkan kode, maka akan dilakukan perencanaan struktur penopang bentang bebas pipa bawah laut. Analisa struktur ini meliputi analisa *inplace* dengan bantuan perangkat lunak SACS.

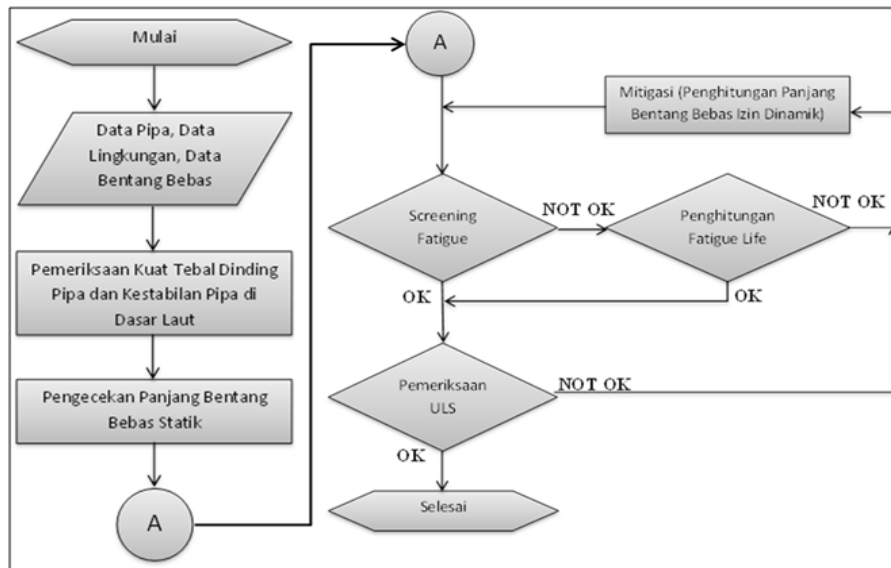
Kata kunci: bentang bebas pipa, prediksi bentang bebas, DNV-OS-F101, DNV RP E305, DNV RP F105, struktur penopang, SACS

PENDAHULUAN

Bentang bebas pipa merupakan fenomena yang diperhatikan pada pekerjaan pipa bawah laut. Oleh karena itu perlu dilakukannya tindakan untuk mengurangi dampak dari bentang bebas tersebut. Dalam karya ilmiah ini, penulis melakukan perhitungan pengecekan ketebalan dinding pipa bawah laut, dimana data pipa telah diberikan, pengecekan kestabilan bawah laut, perhitungan batas bentang bebas, dan melakukan analisa struktur penopang bentang bebas dengan menggunakan perangkat lunak SACS

DASAR TEORI DAN METODOLOGI

Secara umum, metodologi studi analisis dan prediksi bentang bebas pipa bawah laut ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Bagan Alir Proses Pengerjaan Karya Tulis

Desain pipa bawah laut memiliki beberapa tahapan diantaranya desain tebal dinding pipa, pengecekan kestabilan dasar, dan *screening fatigue* untuk mengetahui batas bentang bebas pipa bawah laut.

Langkah desain tebal dinding pipa adalah sebagai berikut:

a. Pengecekan *pressure containment*

$$P_i - P_e \leq \frac{P_b}{\gamma_{sc} \cdot \gamma_m}$$

Pers 1

Dimana:

P_i = tekanan lokal insidental (Pa)

P_e = tekanan eksternal (Pa)

P_b = *pressure containment* (Pa)

γ_m = faktor daya tahan material

γ_{sc} = *safety class factor*

b. Pengecekan *system collapse*

$$P_e - P_{\min} \leq \frac{P_c}{\gamma_{sc} \cdot \gamma_m}$$

Pers 2

Dimana:

P_c = tahanan collapse (Pa)

P_{min} = tekanan internal minimum (Pa)

c. Pengecekan *combined loading*

Kondisi tekanan internal berlebih,

$$\left\{ \left\{ \gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot \frac{|M_{sd}|}{\alpha_c \cdot M_p} + \left\{ \frac{\gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot S_{sd}}{\alpha_c \cdot S_p} \right\}^2 \right\}^2 + \left(\alpha_p \cdot \frac{P_i - P_e}{\alpha_c \cdot P_b} \right)^2 \right\} \leq 1 \quad \text{Pers 3}$$

Kondisi tekanan eksternal berlebih,

$$\left\{ \left\{ \gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot \frac{|M_{sd}|}{\alpha_c \cdot M_p} + \left\{ \frac{\gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot S_{sd}}{\alpha_c \cdot S_p} \right\}^2 \right\}^2 + \left(\gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot \frac{P_e - P_{min}}{P_c} \right)^2 \right\} \leq 1 \quad \text{Pers 4}$$

Dimana:

M_{sd} = momen tekuk desain (N.m)

S_{sd} = gaya aksial efektif desain (N)

M_p = momen statis (N.m)

S_p = gaya aksial statis (N)

α_c = parameter *flow stres*

α_p = *pressure factor*

Langkah selanjutnya adalah pengecekan kestabilan dasar pipa bawah laut yaitu adalah sebagai berikut:

a. Kestabilan secara vertikal

$$\frac{[W_{sub} + B]}{B} \geq 1.1 \quad \text{Pers 5}$$

Dimana:

W_{sub} = massa terendam pipa (kg/m)

B = gaya apung (kg/m)

b. Kestabilan secara horizontal

$$W_{sub} \geq \left[\frac{F_D + F_I + \mu \cdot F_L}{\mu} \right] \cdot F_w$$

Pers 6

Dimana:

F_D = gaya seret (kg/m)

F_I = gaya inersia (kg/m)

F_L = gaya angkat (kg/m)

F_w = faktor kalibrasi

μ = faktor friksi tanah

Langkah selanjutnya adalah perhitungan batas bentang bebas statik dan dinamik menggunakan *screening fatigue* adalah sebagai berikut:

a. Panjang bentang bebas izin statik

$$L_{static} = \sqrt{\frac{16 \cdot I \cdot \sigma_{max}}{W \cdot OD}}$$

Pers 7

Dimana:

I = momen inersia pipa baja (m⁴)

W = massa total pipa (kg/m)

σ_{max} = bending stress maksimum (Pa)

OD = diameter luar pipa baja (mm)

b. Panjang bentang bebas izin dinamik

Kriteria *screening fatigue* arah *in line*,

$$\frac{f_{n,IL}}{\gamma_{IL}} > \frac{U_{c,100year}}{V_{R,onset}^{IL} \cdot D_{tot}} \cdot \left(1 - \frac{L/D_{tot}}{250} \right) \cdot \frac{1}{\alpha}$$

Pers 8

Dimana:

$f_{n,IL}$ = frekuensi natural arah *in line* (Hz)

γ_{IL} = faktor screening arah *in line*

L = panjang bentang bebas pipa (m)

α = rasio aliran

$U_{c,100year}$ = kecepatan arus pada kedalaman pipa (periode ulang 100 tahun) (m/s)

$V_{IL,R,onset}$ = nilai onset untuk pengurangan kecepatan dalam arah *in line*

Kriteria *screening fatigue* arah *cross flow*,

$$\frac{f_{n,CF}}{\gamma_{CF}} > \frac{U_{c,100year} + U_{w,1year}}{V_{R,onset}^{CF} \cdot D_{tot}} \quad \text{Pers 9}$$

Dimana:

$U_{w,1year}$ = kecepatan aliran yang dipengaruhi gelombang pada kedalaman pipa dengan periode ulang 1 tahun (m/s)

$V_{CF,R,onset}$ = nilai onset untuk pengurangan kecepatan dalam arah *cross flow*

$f_{n,CF}$ = frekuensi natural *cross flow* (Hz)

γ_{CF} = faktor screening arah *cross flow*

HASIL ANALISIS

Hasil perhitungan pengecekan desain tebal dinding pipa (tebal dinding 19.05 mm) adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Pengecekan Desain Tebal Dinding Pipa

Kriteria	Ketebalan Pipa (19.05 mm)
<i>Pressure Containment</i>	OK
<i>System Collapse</i>	OK
<i>Combined Loading</i>	OK

Dalam pemeriksaan kestabilan pipa bawah laut, terdapat 2 kriteria yaitu kestabilan vertikal dan lateral. Kestabilan vertikal terkait dengan berat terendam pipa dan gaya *buoyancy* yang bekerja. Sedangkan pada pengecekan kestabilan lateral, dipengaruhi oleh gaya hidrodinamis yang bekerja pada pipa, yaitu *lift force*, *drag force*, dan *inertia force*. Pengecekan kestabilan dilakukan dalam tiga kondisi yaitu instalasi, *hydrotest*, dan operasi. Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut:

Tabel 2 Pengecekan Kestabilan Dasar Pipa

Parameter	Formula	Kondisi		
		Instalasi	<i>Hydrotest</i>	Operasi
<i>Buoyancy</i> (kg/m)	$B = \frac{\pi}{4} \cdot D_{tot}^2 \cdot \rho_{sw}$	708.002	708.002	708.002
<i>Submerged Weight</i> (kg/m)	$W_{sub} = W_{st} + W_{corr} + W_{cc} + W_{cont} - B$	79.682	575.485	103.867
Kestabilan Vertikal	$\frac{[W_{sub} + B]}{B} \geq 1.1$	OK	OK	OK
<i>Lift Force</i> (kg/m)	$F_L = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho_{sw}}{g} \cdot C_L \cdot D_{tot} \cdot U^2$	2.291	2.291	2.291
<i>Drag Force</i> (kg/m)	$F_D = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho_{sw}}{g} \cdot C_D \cdot D_{tot} \cdot U \cdot U $	1.782	1.782	1.782

<i>Inertia Force</i> (kg/m)	$F_I = \frac{1}{4} \cdot \frac{\rho_{sw}}{g} \cdot \pi \cdot C_M \cdot D_{tot} \cdot \dot{u}$	3.783	3.783	3.783
Kestabilan Horizontal	$W_{sub} \geq \left[\frac{F_D + F_I + \mu \cdot F_L}{\mu} \right] \cdot F_w$	OK	OK	OK

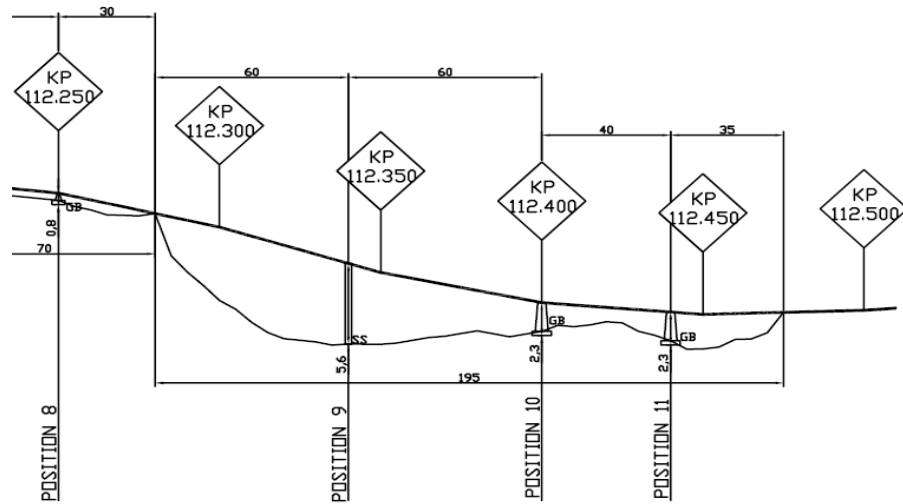
Pipa bawah laut yang menjadi acuan studi kasus memenuhi kriteria kestabilan dasar. Setelah itu, dilakukan perhitungan untuk mencari batas bentang bebas pipa bawah laut baik kriteria statik maupun dinamik. Pada perhitungan batas bentang bebas statik, hal yang paling berpengaruh adalah berat pipa dan fluida yang terkandungnya. Dalam perhitungan batas bentang dinamik, hal yang paling berpengaruh adalah gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja pada pipa. Berikut adalah table perhitungan batas bentang bebas.

Tabel 3 Perhitungan Batas Bentang Bebas Statik

Parameter	Formula	Nilai		
		Instalasi	Hydrotest	Operasi
<i>Allowable Static Freespan</i> (m)	$L_{al} := \sqrt{\frac{16 I_{st} \cdot \sigma_{el}}{W1 \cdot OD}}$	166.3	64.328	152.86

Pada perhitungan *screening fatigue* ini panjang bentang bebas yang dimasukkan adalah bentang bebas setelah ditambahkan struktur penopang yaitu sepanjang 60 meter yang dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Gambar 2 Panjang span setelah diberikan struktur penopang



Tabel 4 Perhitungan Screening Fatigue

Panjang Bentang Bebas	Parameter	Rumusan	Kondisi		
			Instalasi	Operasi	Hydrotest
60 meter	<i>In Line Screening Fatigue Check</i>	$\frac{f_{n,IL}}{\gamma_{IL}} > \frac{U_{c,100year}}{V_{R,onset}^{IL} \cdot D_{tot}} \left(1 - \frac{L/D_{tot}}{250} \right) \cdot \frac{1}{\alpha}$	OK	OK	OK
	<i>Cross Flow Screening Fatigue Check</i>	$\frac{f_{n,CF}}{\gamma_{CF}} > \frac{U_{c,100year} + U_{w,1year}}{V_{R,onset}^{CF} \cdot D_{tot}}$	OK	OK	OK

Setelah dilakukan *screening fatigue*, maka akan dilakukan analisa ULS (Ultimate Limit State) yang berfungsi sebagai tolak ukur ketahanan pipa pada saat beroperasi.

Tabel 5 Perhitungan ULS

Panjang Bentang Bebas	Parameter	Kondisi		
		Instalasi	Operasi	Hydrotest
60 meter	Effective Axial Force and External Overpressure	OK	OK	OK

	Effective Axial Force and Internal Overpressure	OK	OK	OK
--	---	----	----	----

Setelah desain pipa memenuhi syarat, maka akan dilakukan analisa struktur penopang bentang bebas dengan bantuan perangkat lunak SACS.

Tabel 6 Output SACS Member Unity Check Maksimum

GROUP ID	CRITICAL MEMBER	LOAD COND	MAX UNITY CHECK	DIST FROM END	APPLIED STRESS			ALLOWABLE STRESS			
					AXIAL	BEND-Y	BEND-Z	AXIAL	EULER	BEND-Y	BEND-Z
				m	N/mm2			N/mm2			
BR1	301L-381L	4	0.02	0	-0.59	5.71	1.74	194.73	813.50	311.30	311.30
BR2	399L-581L	A	0.03	6	0.73	-10.33	1.87	235.60	308.72	311.30	311.30
BR3	581L-501L	A	0.08	2.7	5.11	-13.29	-19.11	235.60	535.06	311.30	311.30
BR4	519L-699L	4	0.25	4.5	-8.25	46.19	60.01	186.87	546.18	311.30	311.30
BR5	601L-1002	A	0.68	0.8	-12.07	214.00	-1.30	210.80	---	317.63	317.63
LG2	299L-399L	4	0.01	0.5	0.00	2.60	-0.26	235.60	---	309.61	309.61
LG3	399L-499L	A	0.04	2.7	-0.17	10.79	-3.11	210.80	228.96	309.61	309.61
LG4	401L-501L	A	0.27	1.4	-39.48	28.98	-9.77	209.75	---	309.61	309.61
LG5	501L-601L	A	0.54	4.1	-39.55	114.60	33.39	201.58	417.24	309.61	309.61
PL1	119P-219P	A	0.25	0	-49.90	-3.71	4.83	210.33	---	314.11	314.11
PL2	281P-381P	A	0.24	0	-50.01	-1.65	0.38	210.59	---	314.11	314.11
PL3	381P-481L	A	0.25	2.7	-49.76	3.89	0.68	204.94	229.37	314.11	314.11

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pada lokasi studi kasus yang ditinjau, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada pemeriksaan wall thickness, ketebalan pipa yang dibutuhkan agar memenuhi kriteria pressure containment, system collapse, dan combined loading adalah sebesar 19.05 mm.
2. Pada pemeriksaan kestabilan bawah laut, ketebalan beton sebesar 60 mm sebagai pemberat untuk melapisi pipa baja sudah memenuhi kriteria kestabilan arah vertikal dan kestabilan arah horizontal.

3. Pada pemeriksaan *screening fatigue*, panjang bentang bebas setelah ditambahkan struktur penopang yaitu 60 meter, memenuhi kriteria *screening fatigue* baik *in line* maupun *cross flow*.
4. Pada pemeriksaan ULS (ultimate limit state) dengan panjang bentang bebas 60 meter sudah memenuhi kriteria, pipa dapat menahan seluruh gaya internal dan eksternal yang bekerja.
5. Dilakukan *span rectification* dengan menambahkan struktur penopang setinggi 5 meter dan *grout bag* diatas struktur tersebut dengan dimensi 2 x 2 x 0.6 meter untuk menahan pipa sepanjang 120 meter.
6. Analisis inplace struktur dengan SACS 5.1 menghasilkan output member unity check maksimum sebesar 0.68 m pada kombinasi pembebanan pipa fase hydrotest dan beban lingkungan 1 tahun serta beban lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Det Norsk Veritas (DNV) Offshore Standard (OS) F101, "Submarine Pipeline Systems", Oslo, October 2010
- Det Norsk Veritas (DNV) Recommended Practice (RP) E305, "On Bottom Stability", Oslo, October 1988
- Det Norsk Veritas (DNV) Recommended Practice (RP) F105, "Free Spanning Pipelines", Oslo, February 2006
- Bai, Yong. 2001. "**Pipelines and Risers**". United States of America: Elsevier.
- Gou, Boyun. 2005. "**Offshore Pipelines**". United States of America: Elsevier.