

Analisa Tegangan pada *Tie-in Spool 6 Inch* pada Sistem *Offshore Pipeline* Saat Kondisi *Hydrotest* dan Operasi

Bekti Nur Pambudi^{1*}, Mardi Santoso², Edi Hariyono³

Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan TPK, PPNS, Surabaya, Indonesia^{1*}

Jurusan TPK, PPNS, Surabaya, Indonesia²

Jurusan TPK, PPNS, Surabaya, Indonesia³

Email: bektinurp@gmail.com^{1*}; mardisantoso@gmail.com^{2*}; kadir.me97@gmail.com^{3*}.

Abstrak

Tie-in Spool merupakan salah satu komponen yang terdapat pada sistem *offshore pipeline*. *Tie-in spool* memiliki fungsi yaitu menyerap ekspansi *thermal* pada *subsea pipeline* akibat induksi temperatur. Ekspansi pipa dapat menyebabkan *overload* dan kerusakan *offshore platform* atau *subsea structure* yang terhubung dengan jaringan pipa. Dalam karakteristiknya, *tie-in spool* merupakan pipa yang *stiff*. Selain itu juga terdapat banyak *bend* dan sambungan yang dapat mengakibatkan terjadinya konsentrasi tegangan pada *tie-in spool*. Oleh karena itu maka perlu dilakukannya perhitungan pipa pada saat kondisi *hydrotest* dan operasi antara lain yaitu perhitungan *wall thickness*, *on-bottom stability*, *thermal expansion*, dan yang terakhir yaitu pemodelan pada *software*. Hasil yang didapat pada perhitungan maksimum tebal pipa adalah 8,13 mm. Sedangkan tebal pipa nominal yang dipilih berdasarkan standard adalah 8,7 mm. Kestabilan pipa yang diperoleh dari analisa *on-bottom stability* yaitu stabilitas vertikal sebesar 0,47 dan stabilitas *lateral* sebesar 0,27 atau masih bias dikatakan pipa masih dalam keadaan stabil. Ekspansi yang terjadi pada ujung pipa yang dianalisa yaitu sebesar 46,4 mm. Dalam pemodelan *software* diperoleh bahwa nilai tegangan yang terjadi pada sistem *pipeline* masih berada di bawah *allowable stress*.

Kata kunci : ekspansi *thermal*, *hydrotest*, operasi, *stress*, *tie-in spool*

1. PENDAHULUAN

Sistem pipeline merupakan nadi dalam suatu pengeboran minyak dan gas alam. Dalam peranannya system pipeline berfungsi untuk mendistribusikan fluida dari tempat satu ke tempat lainnya seperti dari suatu platform ke platform lainnya. Dalam system pipeline terbagi menjadi dua segmen yaitu sistem *subsea pipeline* dan system riser pipeline. Dalam suatu desain system riser pipeline terdapat berbagai komponen diantaranya yaitu *riser pipeline*, *support clamp*, *tie-in spool*, *flange* dan *anchor blok*. Dari komponen-komponen tersebut, bagian *tie-in spool* harus dilakukan analisa secara detail karena merupakan bagian yang sangat rentan terjadi kerusakan. Dalam desain *tie-in spool* terdapat banyak *bend* dan sambungan. Selain itu *tie-in spool* juga memiliki fungsi menyerap *thermal expansion* yang terjadi pada sistem *pipeline*. Adanya *pressure* dan temperatur pada *tie-in spool* dapat mengakibatkan terjadinya tegangan pada pipa.

2. METODOLOGI

2.1. Identifikasi Masalah

Pada pengerjaan tugas akhir ini, yang perlu dilakukan pertama kali yaitu menentukan permasalahan yang akan dibahas. Tahap ini yaitu menggagas tujuan yang ingin dicapai dan manfaat bagi pihak terkait serta bagi peneliti selanjutnya. Dasar kegiatan yang dilakukan selama penelitian juga dibahas pada tahap ini. Selain itu pada tahap ini juga membahas tentang literature yang digunakan dan dipelajari, seperti buku-buku mengenai pipeline engineering, tugas akhir sebelumnya yang berkaitan dengan pembahasan ini, serta sumber lain seperti code dan standard sebagai yang harus dipenuhi.

2.2. Pengumpulan data

Data yang dihimpun untuk penelitian ini antara lain data pipa seperti jenis material pipa dan karakteristik pipa. Kemudian data lingkungan berupa kedalaman laut, data arus, data gelombang dan temperature lingkungan.

2.3. Perhitungan Wall Thickness

Dalam menentukan perhitungan wall thickness adapun faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan yaitu *pressure containment*, *hydrostatic collapse pressure*, *Propagation buckling*, dan *buckling due to combined bending and external pressure*. Rumus perhitungannya yaitu seperti dibawah ini:

- *pressure containment*

Pressure containment merupakan salah satu persyaratan dalam penentuan tebal pipa. *Pressure containment* yang digunakan berdasarkan pada ASME B 31.8 seperti pada persamaan 1 untuk ketebalan pipa berdasarkan *pressure containment* pada saat operasi dan 2 untuk ketebalan pipa berdasarkan *pressure containment* pada *hydrotest*.

$$t_{cont} = \frac{PD_i \cdot OD}{2 \cdot SMYS \cdot f_d \cdot T_{df}} \quad (1)$$

$$t_{hydro} = \frac{PD_{dh} \cdot OD}{2 \cdot SMYS \cdot f_h} \quad (2)$$

- *hydrostatic collapse pressure*

Runtuhnya pipa dapat terjadi ketika tekanan eksternal yang disebabkan oleh tekanan hidrostatik karena kedalaman air melebihi tekanan internal dan cukup untuk membuat deformasi pada pipa. *The collapse pressure* pipa harus melebihi tekanan eksternal disepanjang pipa, sebagai berikut:

$$P_o - P_1 \leq f_o P_c \quad (3)$$

Persamaan berikut digunakan untuk mendekati tekanan runtuhnya:

$$P_x = 2 \cdot E_1 \cdot \left(\frac{t_n}{OD} \right)^3 \quad (4)$$

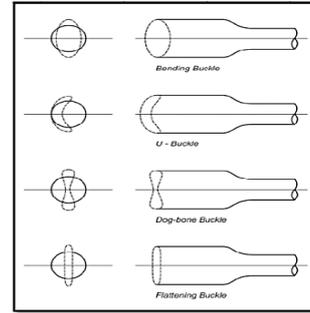
$$P_y = 2 \cdot S \cdot \left(\frac{t_n}{D} \right) \quad (5)$$

$$P_c = \frac{P_y \cdot P_e}{\sqrt{P_y^2 + P_e^2}} \quad (6)$$

- *Propagation buckling*

Propagation buckling adalah perambatan deformasi bentuk pada penampang melintang pipa yang memanjang dan merambat di sepanjang pipa. Prinsip *propagation buckling* adalah adanya tekanan yang dapat menimbulkan *propagation buckle* (tekanan inisiasi *buckle*) yang nilainya lebih besar dari

tekanan yang diperlukan untuk mencegah terjadinya perambatan *buckle* tersebut.



Gambar 2. 1Jenis-jenis propagation buckling

$$P_p = 24 \cdot SMYS \cdot f_t \cdot \left(\frac{t_n}{OD} \right)^{2.4} \quad (7)$$

$$P_i - P_o \geq f_p P_p \quad (8)$$

- *buckling due to combined bending and external pressure*

Perhitungan *buckling* disini merupakan perhitungan kombinasi antara nilai *bending strain* dan tekanan eksternal. Perhitungan ini berasal dari API RP 1111 *sect. 4.3.2.2*.

$$\epsilon_b(t) = \frac{t}{2 \cdot OD} \quad (9)$$

$$g\delta = (1 + 20 \cdot \delta)^{-1} \quad (10)$$

$$\epsilon_{inst} = \epsilon_1 \cdot f_1 \quad (11)$$

$$\epsilon_{inp} = \epsilon_2 \cdot f_2 \quad (12)$$

$$\frac{\epsilon}{\epsilon_b} + \frac{P_i - P_o}{f_c \cdot P_c} \leq g\delta \quad (13)$$

2.4. Perhitungan On-bottom Stability

- Stabilitas Vertikal

Pada stabilitas vertikal dilakukan analisa apakah pipa akan tenggelam atau mengambang di dalam air. Gaya yang menentukan stabilitas pipa pada tahap ini adalah gaya *buoyancy* atau gaya angkat dan gaya berat dari pipa tersebut. Pada perhitungan ini dapat diketahui apakah pipa memerlukan berat tambahan atau tidak, serta besarnya berat tambahan yang diperlukan untuk menjaga pipa tetap stabil.

$$\gamma_W \cdot \frac{b}{W_s + b} \leq 1.1 \quad (14)$$

- Stabilitas Lateral
Pada bagian ini dianalisa stabilitas pipa dalam arah lateral. Faktor yang mempengaruhi stabilitas pipa dalam arah lateral adalah besarnya ombak dan arus. Analisa stabilitas pipa dalam arah lateral memiliki dua metode, yaitu metode absolut dan metode umum. Metode yang dipilih untuk digunakan pada analisa ini adalah metode absolut. Metode absolut menggunakan kesetimbangan gaya untuk memastikan stabilitas pipa. Proses iterasi pada metode ini digunakan agar syarat terpenuhi dengan mengganti tebal beton yang dibutuhkan.

$$\gamma_{SC} \cdot \frac{F^*_Y + \mu \cdot F^*_Z}{\mu \cdot w_s + F_R} \leq 1.1 \quad (15)$$

2.5. Perhitungan Thermal expansion

Tujuan dari perhitungan ekspansi termal adalah untuk mendapatkan nilai ekspansi termal pada kedua ujung pipa.

$$\Delta L_h = \int_0^{L_h} \epsilon_{net} \cdot dx \quad (16)$$

$$\Delta L_c = \int_{L-L_c}^L \epsilon_{net} \cdot dx \quad (17)$$

2.6. Perhitungan Tegangan

Tegangan yang terjadi pada pipa dihitung berdasarkan persamaan yang dimuat dalam ASME B31.8 *Offshore*

- Tegangan hoop
$$\sigma_h = (P_i - P_e) \frac{D}{2t} \quad (18)$$

- Tegangan Longitudinal
$$\sigma_L = \sigma_a + \sigma_b \quad (19)$$

- Tegangan Kombinasi
$$\sigma_c = 2 \sqrt{\left(\frac{\sigma_h + \sigma_L}{2}\right)^2 + (\sigma_t)^2} \quad (20)$$

Persamaan (17), (18), dan (19) Menunjukkan perhitungan tegangan akibat pembebanan dan lingkungan. Dimana nilai P merupakan tekanan kerja sistem (inch), D_o diameter luar pipa (inch)

3. HASIL dan PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Tebal pipa

Tebal pipa dihitung berdasarkan persamaan (1) sampai (12). Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan tebal minimum pipa sebesar 8.131 mm . dengan mempertimbangkan nilai yang ada pada API 5L maka diambil nominal thickness sebesar 8.7 mm.

Tabel 3.1 Perhitungan *Wall Thickness*

Wall Thickness	Tie-in Spool (mm)	
	Hydrotest	Operation
Required Thickness		
Internal Pressure Containment	1.408	1.821
Hydrostatic Collapse		2.143
Buckling Propagation		3.543
Buckling akibat kombinasi Bending dan Tekanan Eksternal		2.656
Allowable		
Corrosion Allowance	0	3
Mill Tolerance		1.25
Construction Allowance		4.3793
Min Hydrotest	2.658	-
Min operating (Functional)	-	6.071
Min operating (Depressurized)	-	8.131

3.2 Perhitungan *On-bottom stability*

Perhitungan stabilitas pipa bawah laut dilakukan dengan menggunakan standar DNV RP F109 (*ON-Bottom Stability Design of Submarine Pipeline*). Kestabilan pipa ditinjau dari *safety factor* stabilitas vertical dan lateral. Berikut adalah beberapa variabel penting yang diperoleh dari perhitungan stabilitas pipa bawah laut :

Tabel 3.2 Hasil Perhitungan *on-bottom Stability*

Tebal Concrete coating	FD	FL	FI	SFV	SFL	Allowable	Mark
	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)				
25 mm	2.125	2.849	0.222	0.427	0.27	1.1	OKE

3.3 Perhitungan Thermal Expansion

Setelah dilakukan perhitungan ekspansi termal, maka didapat panjang ekspansi yang terjadi pada ujung-ujung pipa dan anchor length untuk setiap variasi ketebalan seperti pada tabel di bawah ini

Tabel 3.3 Hasil Perhitungan *thermal expansion*

Variasi Ketebalan (mm)	Operasi		Hydrotest	
	L anchor (m)	Expansion (m)	L anchor (m)	Expansion (m)
7.9	147	0.0494	103	0.0442
8.7	137	0.0464	88	0.0432
9.5	129	0.0442	83	0.0421
11	124	0.0415	68.8	0.0405
12.7	121	0.0395	58	0.0385

3.4 Analisa Tegangan Pipa

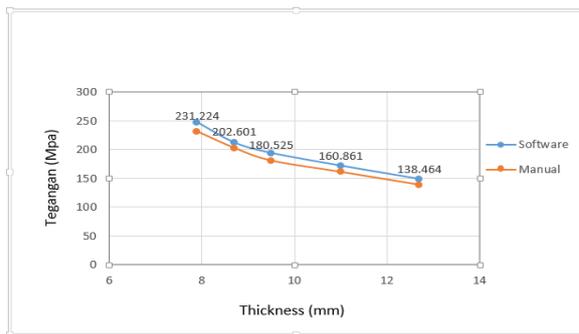
Perhitungan tegangan dilakukan dengan menggunakan simulasi *software*. Perhitungan juga dilakukan dengan menggunakan secara manual.

Tabel 3.4 Perhitungan software tegangan pada pipa

Variasi Thickness (mm)	Hoop (N/mm ²)	Longitudinal (N/mm ²)	Combine (N/mm ²)	Allowable Hoop	Allowable Longitudinal	Allowable Combined
7.9	39	115	247	180	288	324
8.7	36	110	212	180	288	324
9.5	33	106	194	180	288	324
11	28	102	172	180	288	324
12.7	24	94	149	180	288	324

Tabel 3.5 Perhitungan manual tegangan pada pipa

Thickness (mm)	Hoop (N/mm ²)	Longitudinal			Torsional (N/mm ²)	Combine (N/mm ²)	Allowable hoop (N/mm ²)	Allowable Long (N/mm ²)	Allowable Combined (N/mm ²)
		Σa	cb	ΣL					
7.9	34.560	92.22	15.84	108.060	91.770	233.212	180	288	324
8.7	31.382	91.47	11.10	102.570	76.440	201.063	180	288	324
9.5	28.740	90.80	9.77	100.540	63.550	180.525	180	288	324
11	24.821	89.92	7.98	97.900	52.450	160.861	180	288	324
12.7	21.498	89.14	5.10	94.244	38.400	138.464	180	288	324



Gambar 3.1 perbandingan software dengan manual

4. KESIMPULAN

1. Tebal dinding *pipeline* yang didapatkan adalah 8.7 mm (0.342 inc). Tebal ini memenuhi semua kriteria yang diberikan oleh ASME B31.8 dan API RP 1111 tentang *minimum wall thickness, hoop stress, collapse due to external pressure, buckling due to combined bending and external pressure, dan propagation*
2. Dalam analisa *On-Bottom Stability* secara umum diperoleh bahwa dengan ketebalan *concrete* 25 mm dalam kondisi operasi, berat pipa dapat menahan gaya-gaya yang bekerja di dasar laut. Dimana hal ini ditunjukkan dengan adanya nilai *safety factor* untuk stabilitas vertical sebesar $S_v = 0.427$ dan stabilitas lateral sebesar $S_l = 0.27$ atau nilai tersebut kurang dari batas stabilitas yaitu = 1.1
3. Dari analisa thermal expansion yang dihitung dengan menggunakan *software mathcad* diperoleh nilai thermal expansion dalam kondisi

operasi sebesar 46.44 mm sehingga diperoleh nilai panjang anchor sebesar 137m. Sedangkan dalam kondisi *hydrotest* diperoleh nilai thermal expansion sebesar 43.263 mm sehingga diperoleh nilai panjang anchor sebesar 88 m.

4. Dalam kondisi *hydrotest* dengan ketebalan 8.7 mm di peroleh nilai tegangan maksimum untuk masing-masing *hoop stress* = 52 Mpa, *longitudinal stress* = 101 Mpa, dan *combined stress* =138 Mpa. Sedangkan dalam kondisi operasi diperoleh nilai tegangan maksimum untuk masing-masing *hoop stress* = 36 Mpa, *longitudinal stress* = 110 Mpa, dan *combined stress* = 212 Mpa.
5. Dalam analisa tegangan axial pada *tie-in spool*, semua nilai tegangan masih berada dibawah batas ambang atau masih dibawah allowable stress yang sesuai dengan ASME B31.8 sehingga dapat dikatakan kalau sistem ini masih aman.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. ASME B31.8, *Gas Transmission and Distribution Piping Systems*
2. API Spec 5L, *Specification for Line Pipe*
3. API RP 1111, *Design, Construction, Operation, and Maintenance of Offshore Hydrocarbon Pipelines*
4. DNV RP F109, *On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines*
5. Bai, Qiang. 2014. *Subsea Pipeline Design, Analysis, and Installation*. Oxford:Elsevier
6. Chamsudi, Ahmad. 2005. Diktat – *Piping Stress Analysis*