

DESAIN DAN ANALISIS *FREE SPAN PIPELINE*

Nur Khusnul Hapsari¹ dan Rildova²

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesha 10 Bandung 40132

¹nur.khusnul.hapsari@gmail.com dan ²rildova@ocean.itb.ac.id

Kata Kunci: Desain Tebal Pipa, *On-bottom Stability*, *Free Span*, Analisis *Screening Fatigue*, Analisis *Ultimate Limit State*.

PENDAHULUAN

Pada tugas akhir ini jaringan pipa digunakan untuk mengalirkan gas. Studi kasus diambil dari proyek instalasi jaringan pipa *Offshore North West Java*. Studi kasus yang dilakukan mencakup penentuan tebal dinding pipa bawah laut menggunakan perbandingan 3 standar yaitu ASME B31.8, DNV 1981, dan DNV RP E305. Selain itu dilakukan penentuan tebal selimut beton yang memenuhi prinsip kestabilan pipa bawah laut. Untuk menjawab permasalahan timbulnya *free span* yang pada umumnya disebabkan permukaan dasar laut yang tidak rata, dilakukan analisis bentang bebas yang memperhitungkan kriteria *fatigue* dan kriteria *Limit Ultimate State* agar pipa yang dirancang tidak mengalami kelelahan dan lekuk akibat bentang bebas sehingga pipa dapat memenuhi masa layannya. Pada Gambar 1 dapat dilihat lokasi struktur pipa yang direncanakan.



Gambar 1 Lokasi Pipa Pada *Offshore North West Java* (dilingkari)

METODOLOGI

Langkah awal pada perancangan pipa adalah menentukan tebal pipa. Perhitungan tebal pipa didasarkan pada kriteria desain yang diakibatkan adanya tekanan fluida yang dialirkan dan tekanan eksternal yang terjadi. Perhitungan kriteria desain juga dilakukan pada keseluruhan kondisi yaitu instalasi, *hydrotest*, dan operasi

agar pipa dapat tahan dalam seluruh kondisi. Untuk menentukan tebal dinding pipa secara konservatif, maka perhitungan menggunakan lebih dari satu kode referensi. Pada karya tulis ini perhitungan tebal pipa menggunakan tiga kode referensi yaitu ASME B31.8, DNV 1981, dan DNV OS F101.

Setelah menentukan tebal pipa, hal yang dilakukan adalah melakukan analisis kestabilan pipa bawah laut baik kestabilan lateral maupun vertikal. Jika kestabilan pipa bawah laut tidak terpenuhi, dibutuhkan metoda yang dapat memenuhi kestabilan. Pada Karya tulis ini metoda yang digunakan menambah selimut beton pada pipa yang berfungsi sebagai pelindung dan pemberat pipa agar tetap stabil. Perhitungan stabilitas pipa mengacu pada standar DNV RP E305.

Setelah pipa dirasa stabil, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis *free span* berdasarkan kriteria *screening fatigue* dan kriteria *Limit Ultimate State*. Kriteria *screening fatigue* akibat bentang bebas yang tidak terpenuhi mengindikasikan pipa mengalami kelelahan akibat vibrasi struktur. Sedangkan kriteria *Limiti Ultimate State* akibat bentang bebas yang tidak terpenuhi mengindikasikan terjadinya lekuk pada pipa. Analisis bentang bebas yang dilakukan mengacu pada DNV RP F105.

Data yang digunakan pada perhitungan meliputi data pipa, data desain, data coating pipa, data geoteknik, data kecepatan arus dan data gelombang signifikan. Untuk kedalaman perairan lokasi dimana pipa diletakkan menggunakan kedalaman sebesar 30 meter. Untuk data pipa baja, menggunakan baja dengan diameter luar 508 mm, baja kelas X-60, modulus elastisitas 2.07×10^{11} Pa, densitas baja 7850 kg/m³, tebal corrosion allowance 4 mm. Pipa mengalirkan gas dengan massa jenis 50 kg/m³, dengan besar tekanan operasi pipa 300 psi. Data geoteknik digunakan untuk menentukan karakteristik tanah *seabed* yang berinteraksi dengan pipa dengan data mencakup jenis tanah berupa *medium sand*, *Shear stress* 0psi, massa jenis tanah 1860 kg/m³, *grain size* 0.25 mm, *roughness* 0.4 mm. Data kecepatan arus menggunakan referensi 90 dari kedalaman, yaitu 27 m dari permukaan dengan kecepatan arus periode ulang 1 tahun 0.31 m/s dan kecepatan arus periode ulang 100 tahun 0.33 m/s. Data gelombang yang digunakan menggunakan gelombang signifikan dengan tinggi gelombang 1.7 m (periode 1 tahun) dan 2.9 (periode 100 tahun), dengan periode puncak sebesar 6.3 sekon (periode 1 tahun) dan 8.6 (periode 100 tahun). Untuk analisis *free span* data utama yang digunakan adalah panjang dan tinggi span aktual sesuai data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan tebal pipa dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan perhitungan tebal pipa menggunakan tiga standar yaitu ASME B31.8, DNV 1981, DNV OS F101, didapatkan tebal pipa paling konservatif pada standar DNV OS F101 pada kriteria *buckle propagation* sebesar 7.612 mm, namun tebal pipa yang digunakan sebesar 7.9 berdasarkan kondisi fabrikasi pada umumnya yang mengacu pada API 5L.

Setelah melakukan perhitungan tebal pipa, dilakukan analisis stabilitas pipa bawah laut arah vertikal dan lateral pada ketiga kondisi (instalasi, *hydrotest*,

operasi). Sehingga diperlukan penambahan selimut beton sebesar 55 mm pada pipa agar stabil dimana nilai faktor keamanan minimal pada arah vertikal sebesar 1.1 dan minimal 1 untuk arah lateral. Pada tabel 2 dilampirkan nilai faktor keamanan stabilitas pipa menggunakan ketebalan beton sebesar 55 mm.

Setelah menentukan tebal pipa dan selimut beton dilakukan analisis terhadap *free span*. Analisis pertama yang dilakukan adalah *screening fatigue* yang dipengaruhi panjang dan tinggi *span* data. *Screening fatigue* dilakukan dengan membandingkan nilai frekuensi natural struktur dengan kriteria fatigue yang dipengaruhi arus dan gelombang. Hasil dari *screening fatigue* berupa kondisi di setiap *span*, apabila frekuensi natural lebih kecil maka struktur mengalami *fatigue* pada *span span* yang ditinjau. Berdasarkan hasil *screening* selain panjang bentang bebas tinggi bentang bebas juga mempengaruhi kriteria *screening fatigue*. Hal ini dapat terlihat *fatigue* dapat terjadi pada panjang bentang 27,1 m dengan tinggi 1,2 m dan tidak terjadi fatigue pada bentang bebas sepanjang 33,2m dengan tinggi sebesar 0,3 m. Analisis *free span* lain adalah analisis *ultimate limit state* yang dilakukan untuk memeriksa apakah terjadi *buckling* sepanjang span atau tidak. Berdasarkan hasil perhitungan kriteria *Ultimate Limit State* baik akibat *external overpressure* dan akibat *internal overpressure* terpenuhi pada seluruh panjang bentang bebas.

Tabel 1 Hasil Perhitungan Tebal Pipa

Kriteria	Kondisi	Wall thickness (t) based on code		
		ASME B31.8	DNV 1981	DNV OS F101
		t	t	t
		(mm)	(mm)	(mm)
Internal Pressure Containment	Instalasi	-	-	-
	Hydrotest	2.266	-	2.145
	Operasi	1.429	-	1.234
Collapse due to External Pressure	Instalasi	-	-	5.188
	Hydrotest	-	-	-
	Operasi	-	-	-
Local Buckling	Instalasi	-	5.67	-
	Hydrotest	-	-	-
	Operasi	-	-	-
Buckle Propagation	Instalasi	-	7.137	7.612
	Hydrotest	-	7.137	7.612
	Operasi	-	7.137	7.612
Selected Wall Thickness	Nilai tebal pipa yang dipilih berdasarkan hasil yang paling konservatif yaitu 7.612 mm, nilai ini didapatkan dari standard DNV OS F101 pada kriteria buckle propagation.			
Selected Wall Thickness based on API 5L Criteria	Pipa yang digunakan Size 20 dengan tebal pipa yang digunakan 7.9 mm, dan diameter terluar 508 mm.			

Tabel 2 Nilai Faktor Keamanan Menggunakan Tebal Beton 55 mm

Arah Stabilitas	Nilai Faktor Keamanan		
	Instalasi	Hydrotest	Operasi
Vertikal	1.235	1.82	1.188
Lateral	1.882	6.532	1.501

KESIMPULAN

Tebal pipa yang paling konservatif yang didapat sebesar 7.612 mm pada kriteria *buckle propagation* berdasar DNV F101 diakibatkan kalkulasi tebal pipa menggunakan banyak faktor keamanan pada persamaanya. Pada akhirnya tebal pipa yang digunakan sebesar 7.9 mm didasarkan hasil perhitungan yang

disesuaikan kriteria API 5L Untuk tebal beton yang digunakan memperhitungkan dalam ketiga kondisi, yaitu instalasi, *hydrotest*, dan operasi sehingga tebal beton yang digunakan sebesar 55 mm. Pada kondisi operasi didapatkan nilai faktor keamanan terkecil, dimana kestabilan vertikal sebesar 1.188 dan kestabilan lateral sebesar 1.501. Hal ini diakibatkan pengaruh fluida yang dialirkan serta tebal karakteristik pipa kondisi operasi yang memperhitungkan *corrosion allowance*.

Pengaruh kelelahan struktur pada bentang bebas tidak hanya didominasi panjang bentang bebas, kedalaman bentang bebas juga mempengaruhi kondisi *fatigue*. Perlu dilakukan *span remediation* pada *span* pipa yang tidak memenuhi kriteria *screening fatigue*. Berdasarkan hasil *ultimate limit state check* pada, seluruh *span* pada seluruh kondisi (instalasi, *hydrotest*, dan operasi) memenuhi kriteria. Artinya tidak terjadi efek *local buckling* pada seluruh *span*, hal ini dikarenakan penggunaan material pipa dengan ketahanan tegangan leleh yang tinggi yaitu menggunakan pipa kelas baja X-60.

DAFTAR PUSTAKA

1. Det Norske Veritas, OS F101: *Submarine Pipeline System*, Veritas, Oslo 2010
2. Det Norske Veritas, RP F105: *Free Spanning Pipelines*, Veritas, Oslo 2006
3. Det Norske Veritas, PR E305: *On-bottom Design Stability of Submarine Pipelines*, Veritas, Oslo 1988.
4. Det Norske Veritas, *Rules For Submarine Pipeline Systems*, Veritas Oslo 1981
5. The American Society of Mechanical Engineers, ASME B31.8, U.S.A, 2010.
6. Boyun Guo at. al., *Offshore Pipelines*, Gulf-Professional Publishing, Burlington, U.S.A., 2005.
7. Puspitasari. Ratna, *Laporan Tugas Akhir: Analisis Free Span Pipa Bawah Laut*, Program Studi Teknik Kelautan ITB, 2008.
8. Pratama. Dimas Adi, *Laporan Tesis: Analisis Free Span Pipa Bawah Laut dan Span Remediation*, Program Studi Teknik Kelautan ITB, 2007.
9. Inon. Latifah, *Laporan Tugas Akhir: Analisis Bentang Free Span Pipa Bawah Laut Dalam Kondisi Operating*, Program Studi Teknik Kelautan ITB, 2009.
10. Rikanti. Jessica, *Laporan Tugas Akhir. Desain dan Analisis Tegangan Pipeline Crossing*, Program Studi Teknik Kelautan ITB, 2012