

Analisa Pengaruh *Settlement* Terhadap *Stress* dan *Clearance* Pada *Offshore Crossing Pipeline*

Andra Wahyu Wicaksono¹, Heroe Poernomo², Adi Wirawan Husodo³

Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1,2,3}

Email: andrawahyu11@gmail.com¹; heroe_p@na.its.ac.id²; adi_wirawan@ppns.ac.id³

Abstrak

Pada saat penentuan rute pipa tidak jarang ditemukan kasus dimana rute pipa yang akan ditentukan bertemu dengan sebuah objek *existing* seperti pipa bawah laut dan kabel bawah laut. Oleh karena itu *pipeline* diusahakan tidak terlalu dekat dengan lokasi objek *existing* dengan jarak aman vertikal (*clearance*) pipa minimal 0.3 meter (DNV OS-F101). Nilai tegangan didapat dengan memodelkan *crossing pipeline* pada Autopipe. Variasi dilakukan dengan menggunakan 3 *support*, 4 *support* dan 3 kondisi pembebanan, antara lain instalasi, *hydrotest*, dan operasi. Analisa penurunan tanah dilakukan dengan menentukan nilai *immediate settlement* dan nilai *consolidation settlement*. Hasil analisa menunjukkan nilai tegangan pada pipa sebelum dan sesudah *settlement* masih dalam batas aman berdasarkan ASME B.31.4. Dengan *unity check* 0.96 pada kondisi *hydrotest* untuk 4 *support* sebelum *settlement*, dan *unity check* 0.91 pada kondisi *hydrotest* pada 3 *support* setelah *settlement*. Total penurunan tanah yang terjadi pada *support* tipe *concrete sleeper* sebesar 401.927 mm dengan nilai *clearance* 491.927 mm. dan pada *support* tipe *concrete mattress* sebesar 334.319 mm dengan nilai *clearance* 265.681 mm dengan nilai *clearance* 265.681 mm. Dari nilai *clearance* pada *support* utama maka jarak aman vertikal (*clearance*) 0.3 m antar kedua pipa aman dan tidak terlampaui selama masa operasi.

Keywords: *Clearance; Crossing Pipeline, Settlement, Stress Analysis, Pipeline Support*

1. PENDAHULUAN

Pada saat penentuan rute pipa, tidak jarang ditemukan kasus dimana rute pipa yang akan ditentukan bertemu dengan sebuah objek *existing* seperti pipa bawah laut dan kabel bawah laut. Maka dengan banyaknya faktor yang dipertimbangkan dalam pemilihan rute pipa dapat dimungkinkan adanya kondisi silangan (*crossing*) diantara *pipeline*. *Crossing* sendiri merupakan kondisi dimana terdapat lebih dari satu jalur pipa bawah laut yang saling berdekatan dalam kondisi vertikal. Media antara *crossing* tersebut dapat berupa *concrete mattress* maupun *concrete sleeper* atau dengan melakukan *burial* dibawah *seabed*. Selain itu *pipeline* diusahakan tidak berada terlalu dekat dengan lokasi struktur lain atau *pipeline* lain (*Det Norske Veritas 2000; DNV OS F-101, Submarine Pipeline Systems*), dengan jarak vertikal minimal yang memisahkan antara pipa satu dengan yang lainnya sejauh 0,3 m.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari *settlement* (penurunan tanah) di bawah struktur *crossing pipeline* dengan variasi 3 buah dan 4 buah *support* yang berupa *concrete sleeper* dan *concrete mattress* terhadap nilai *stress* pipa dan *clearance* antara kedua pipa yang saling bersilangan. Analisa *stress* dan *settlement* dilakukan dalam 3 kondisi, antara lain kondisi instalasi, kondisi *hydrotest*, dan kondisi operasi. Hal tersebut dikarenakan di 3 kondisi

tersebut *pipeline* mengalami perlakuan berbeda. Oleh karena itu perlu adanya analisa per kondisi agar diketahui hasil analisa secara lebih spesifik (Arifianti, 2011).

2. METODOLOGI

Analisa dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh *soil settlement* atau penurunan tanah yang terjadi pada *support crossing pipeline* pada nilai *stress* dari *pipeline* yang ada di atasnya. Lalu dilakukan perbandingan antara sebelum dan sesudah *settlement* selama masa operasi apakah batas aman sebesar 0.3 m terlampaui atau tidak.

2.1 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari 4 komponen utama, yaitu perhitungan *stress* pada pipa sebelum *settlement*, perhitungan besar *settlement* yang terjadi dibawah struktur *support* pipa, perhitungan *stress* setelah terjadi *settlement*, dan pengecekan *clearance* antar kedua pipa. Perhitungan *stress* dilakukan dengan memodelkan *crossing pipeline* pada *software* Autopipe. Akan tetapi sebelumnya dilakukan dahulu perhitungan *span* untuk mendapatkan panjang bentang bebas yang diijinkan. Perhitungan *settlement* dilakukan dengan menghitung *immediate settlement* dan *consolidation settlement*. *Clearance* didapat dari

nilai total *settlement* yang terjadi pada *support* utama.

2.2 Calculation

1. Pipe Span

Perhitungan yang tepat diperlukan dalam menentukan panjangmaksimum dari bentang bebas yang diakibatkan oleh pipa tersupporttersebut sehingga aman dari kemungkinan terjadinya kegagalan struktur.

$$L_C = \sqrt{\frac{C_e U_r D}{2\pi U_c} \frac{EI}{M_e}} \quad (2.1)$$

$$L_C = \sqrt{\frac{C_e}{2\pi f_n} \frac{EI}{M_e}} \quad (2.2)$$

2. Stress Analysis

Menurut ASME B.31.4-2012-*Pipeline Transportation Systems forLiquid and Slurries Chapter IX* mengenai *Offshore Liquid Pipeline Systems*,telah dijelaskan mengenai Analisa stress yang terjadi pada pipa antara lain*hoop stress*, *longitudinal stress*, dan *combine stress*.

$$S_h \leq F_1(S_y) \quad (2.3)$$

$$S_h = (P_i + P_e) \frac{D-t}{20t} \quad (2.4)$$

$$|S_L| \leq F_2 S_y \quad (2.5)$$

$$2 \left[\left(\frac{S_L - S_H}{2} \right)^2 + S_t^2 \right]^{1/2} \leq F_3 S_y \quad (2.6)$$

$$(S_h^2 - S_L S_H + S_L^2 + 3S_t^2)^{1/2} \leq F_3 S_y \quad (2.7)$$

3. Settlement

Penambahan beban di atas permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan. Ketika nilai beban (*load*) per unit area pada pondasi bertambah secara kontinyu maka nilai *settlement* juga akan bertambah.

$$\Delta_H = qB \frac{1-\mu^2}{E_s} I_w \quad (2.8)$$

$$S_{cp} = \frac{C_c H}{1+e_o} \log \left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right) \quad (2.9)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pipe Span

Salah satu faktor yang mempengaruhi besaran nilai *stress* adalah panjang *span* atau bentang bebas. Maka dari itu perlu dihitung berapa nilai panjang *span* agar nantinya nilai *stress* tidak melebihi batas

maksimum sesuai standar yang digunakan yaitu ASME B31.4. Dari perhitungan yang dilakukan pada pipa baik kondisi instalasi, *hydrotest*, dan operasi maka diperoleh nilai-nilai yang ditunjukkan pada tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3.1 Hasil perhitungan *span* pada 3 kondisi secara statis dan dinamis

Parameter	Phase		
	Installation	Hydrotest	Operating
	m	m	m
Cross-Flow	23.829	22.604	23.629
In-Line	16.132	15.303	13.518
Static	49.598	41.151	45.45

3.2 Analisa Stress Sebelum Settlement

Nilai *stress* didapat dengan cara memodelkan *crossing pipeline* pada software Autopipe dengan 2 variasi jumlah *support*, yaitu 3 *support* dan 4 *support*. Hasil dari nilai *stress* sebelum *settlement* bisa dilihat pada tabel 3.2 dan 3.3 dibawah ini

Tabel 3.2 Nilai Stress dengan 4 *support*

Description	Units	Value	Allowable
Installation	Mpa	299.14	322.68
Hydrotest	Mpa	310.10	322.68
Operation	Mpa	216.25	322.68

Tabel 3.3 Nilai Stress dengan 3 *support*

Description	Units	Value	Allowable
Installation	Mpa	274.80	322.68
Hydrotest	Mpa	286.68	322.68
Operation	Mpa	192.67	322.68

3.3 Analisa Settlement

Perhitungan nilai *settlement* dilakukan pada 2 jenis *support* yang digunakan, yaitu *concrete sleeper* dan *concrete mattress*, dan dalam 3 kondisi pembebanan yaitu kondisi instalasi, kondisi *hydrotest*, dan kondisi operasi. Hasil perhitungan *immediate settlement* dapat dilihat pada table 3.4 dan 3.5.

Tabel 3.4 Nilai *Immediate Settlement*

Phase	Concrete Sleeper	Concrete Mattress

	mm	mm
Installation	16.52	26.67
Hydrotest	33.75	50.38
Operation	66.35	103.52

Tabel 3.5 Nilai *Consolidation Settlement*

Phase	Concrete Sleeper	Concrete Mattress
	mm	mm
Installation	66.357	67.468
Hydrotest	73.314	75.153
Operation	81.689	84.739

3.4 Analisa *Stress* Setelah *Settlement*

Hasil dari nilai *stress* setelah *settlement* bisa dilihat pada tabel 3.6 dan 3.7 dibawah ini.

Tabel 3.6 Nilai *Stress* dengan 4 *support*

Description	Units	Value	Allowable
Installation	Mpa	269.97	322.68
Hydrotest	Mpa	278.38	322.68
Operation	Mpa	175.64	322.68

Tabel 3.7 Nilai *Stress* dengan 3 *support*

Description	Units	Value	Allowable
Installation	Mpa	278.76	322.68
Hydrotest	Mpa	293.38	322.68
Operation	Mpa	183.09	322.68

3.5 Analisa *Clearance* Pada *Crossing Pipeline*

Dari hasil total *settlement* yang terjadi pada masing-masing jenis *support* selama 3 kondisi antara lain instalasi, *hydrotest*, dan operasi dapat diketahui apakah jarak aman vertikal tersebut aman sampai masa akhir operasi dari pipa yang saling bersilangan. Nilai total *settlement* dari masing masing jenis *support* dapat dilihat pada table 3.8 dibawah ini.

Tabel 3.8 Nilai Total *Settlement*

	Concrete Sleeper	Concrete Mattress
	mm	mm
Total Settlement	401.927	344.319

4. KESIMPULAN

Hasil dari pembahasan dan analisa yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai *stress* paling besar yang didapat pada kondisi *crossing* dengan 4 *support* adalah 310.10 Mpa pada saat *hydrotest*, dan 286.68 Mpa saat *hydrotest* dengan 3 *support*. Keduanya masih memenuhi batas izin sebesar 322.68 Mpa sesuai dengan ASME B31.4.
2. Nilai total *settlement* yang terjadi pada *concrete sleeper* sebagai *support* utama sebesar 401.927 mm, dan pada *concrete mattress* sebagai *support* pendukung sebesar 344.319 mm.
3. Nilai *stress* paling besar yang didapat pada kondisi *crossing* setelah *settlement* dengan 4 *support* pada saat *hydrotest* sebesar 278.38 Mpa dan 293.38 Mpa saat *hydrotest* dengan 3 *support*.
4. Nilai *clearance* yang didapat pada *concrete sleeper* sebagai *support* utama sebesar 498.073 mm, dan pada *concrete mattress* sebagai *support* pendukung sebesar 255.681 mm. Dari nilai *clearance* pada *support* utama dapat disimpulkan bahwa jarak aman vertikal antar pipa pada kondisi *crossing* sebesar 300 mm aman sampai masa akhir produksi.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyelesaian Jurnal ini tentunya tidak lepas dari bantuan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas berkat, rahmat, dan anugerah-Nya yang tak terkira pada penulis sehingga mampu menyelesaikan pengerjaan tugas akhir ini.
2. Kedua orangtua tersayang dan tercinta, Sutrisno dan Rini Winarsih, yang selalu mendukung dan mendoakan disetiap waktu agar diberi kemudahan dalam menyelesaikan tugas akhir. Semua usaha dan karya ini penulis persembahkan sebagai salah satu upaya untuk menciptakan sedikit senyum bangga di wajah Bapak dan Ibu.
3. Adi Wirawan Husodo, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 1 dan dosen pembimbing 2, atas segala bimbingan dan arahan kepada penulis dengan baik dan sabar.
4. Rekan-rekan Teknik Perpipaan 2013, khususnya kelas B, yang selalu memberikan kebersamaan baik suka maupun duka. Semoga kebersamaan ini akan selalu tetap terjaga kapanpun dan dimanapun kita berada selanjutnya.

6. DAFTAR NOTASI

L_c : Panjang *span* (m)

C_e	: 9.87 (<i>pinned-pinned</i>)
M_e	: Masa efektif pipa
U_r	: <i>Reduced velocity</i>
f_n	: Frekuensi natural (<i>in-line motion</i>)
F_1	: Hoop Stress Design Factor (0.72)
S_y	: SMYS (psi)
S_h	: Hoop Stress (psi)
F_2	: Longitudinal stress design factor (0.80)
S_L	: Maximum longitudinal stress (psi)
F_3	: Combined stress design factor (0.80)
S_t	: Torsional stress (psi)
Δ_H	: Penurunan segera (mm)
q	: Besarnya tegangan kontak (kN/m ²)
B	: Lebar Pondasi (m)
I_w	: Faktor kekakuan pondasi
μ	: <i>Poisson's ratio of soil</i>
E_s	: Sifat elastisitas tanah
S_{cp}	: Perkiraan konsolidasi (m)

7. DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, Hafizhuddin Rahmansyah. 2015. **Analisis Stabilitas Support Pipeline Tipe Concrete Mattress pada Crossing Offshore Pipelines**. Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Arifianti, Ratih Putri. 2011. **Analisa Stabilitas Subsea Crossing Gas Pipeline Dengan Support Pipa Berupa Concrete Mattress Dan Sleeper (Studi Kasus Crossing South Sumatera West Java (SSWJ) Milik PT. Perusahaan Gas Negara (Persero) Tbk. Dan**