

DESAIN DAN ANALISIS RISIKO PIPA BAWAH LAUT AKIBAT DROPPED ANCHOR DAN SINKING VESSEL DENGAN STANDAR DNV RP F-107

Abdul Malik

Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan,

Institut Teknologi Bandung

JL. Ganeca No. 10 , Bandung 40132

malikwindra@gmail.com

Kata kunci: pipa bawah laut, risiko, *dropped anchor*, *sinking vessel*

ABSTRAK

Pada studi ini, dilakukan desain terhadap *wall thickness* dan kestabilan pipa bawah laut serta analisis risiko pipa bawah laut akibat kedua kejadian tersebut dengan menggunakan data pipa proyek *offshore pipeline* Labuhan Maringgai – Muara Bekasi milik PT. Perusahaan Gas Negara (Persero) Tbk (PGN) di zona 17, dengan data kapal dan pelayaran dari Pelabuhan Tanjung Priok dengan asumsi semua kapal yang berlayar dari dan ke Pelabuhan Tanjung Priok melewati jalur pipa tersebut, serta data angin 6 jam-an pada tahun 1995-2015 yang diambil dari situs *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

Desain *wall thickness* pipa dilakukan dengan menggunakan standar DNV 1981, sedangkan untuk mendesain kestabilan pipa bawah laut menggunakan standar DNV RP E305. Analisis risiko dilakukan dengan menggunakan metode *risk matrix*, dengan probabilitas yang digunakan adalah probabilitas total kejadian *dropped anchor* dan *sinking vessel* mengenai pipa, dimana kegagalan dapat terjadi apabila salah satu dari kejadian tersebut telah terjadi. Sedangkan, konsekuensi berupa *dent* didapatkan dengan perhitungan berdasarkan DNV RP F-107, dan konsekuensi yang digunakan adalah konsekuensi terbesar yang dihasilkan oleh kejadian *dropped anchor* dan *sinking vessel*. Studi ini dilakukan untuk mengetahui tingkat risiko pipa bawah laut di lokasi studi dan apakah tingkat risiko tersebut berada dalam batas *Acceptable*, *As Low As Reasonably Practicable* (ALARP), atau *Not Acceptable*, dimana apabila tingkat risiko pipa masuk ke dalam batas ALARP, atau *Not Acceptable* maka diperlukan analisis lanjutan mengenai mitigasi yang dapat dilakukan untuk mengurangi tingkat risiko yang dapat terjadi.

PENDAHULUAN

Minyak bumi dan gas alam merupakan sumber energi yang paling banyak digunakan di dunia. Sumber energi tersebut pada awalnya hanya didapatkan dari hasil eksplorasi dan pengeboran yang dilakukan di darat. Kemudian pada awal tahun 1897, eksplorasi dan pengeboran minyak bumi dan gas alam dilakukan di laut pertama kali di Summerland, California.

Terdapat dua metode yang digunakan untuk menyalurkan minyak bumi dan gas alam dari laut ke daratan, yaitu dengan menggunakan pipa bawah laut dan kapal tanker. Penggunaan pipa bawah laut lebih banyak digemari dikarenakan pipa bawah laut dapat terus menyalurkan minyak bumi dan gas alam tanpa perlu terhalang oleh cuaca dan juga biaya operasional yang relatif lebih murah dibandingkan dengan biaya penggunaan kapal tanker walaupun biaya pemasangannya sangat mahal.

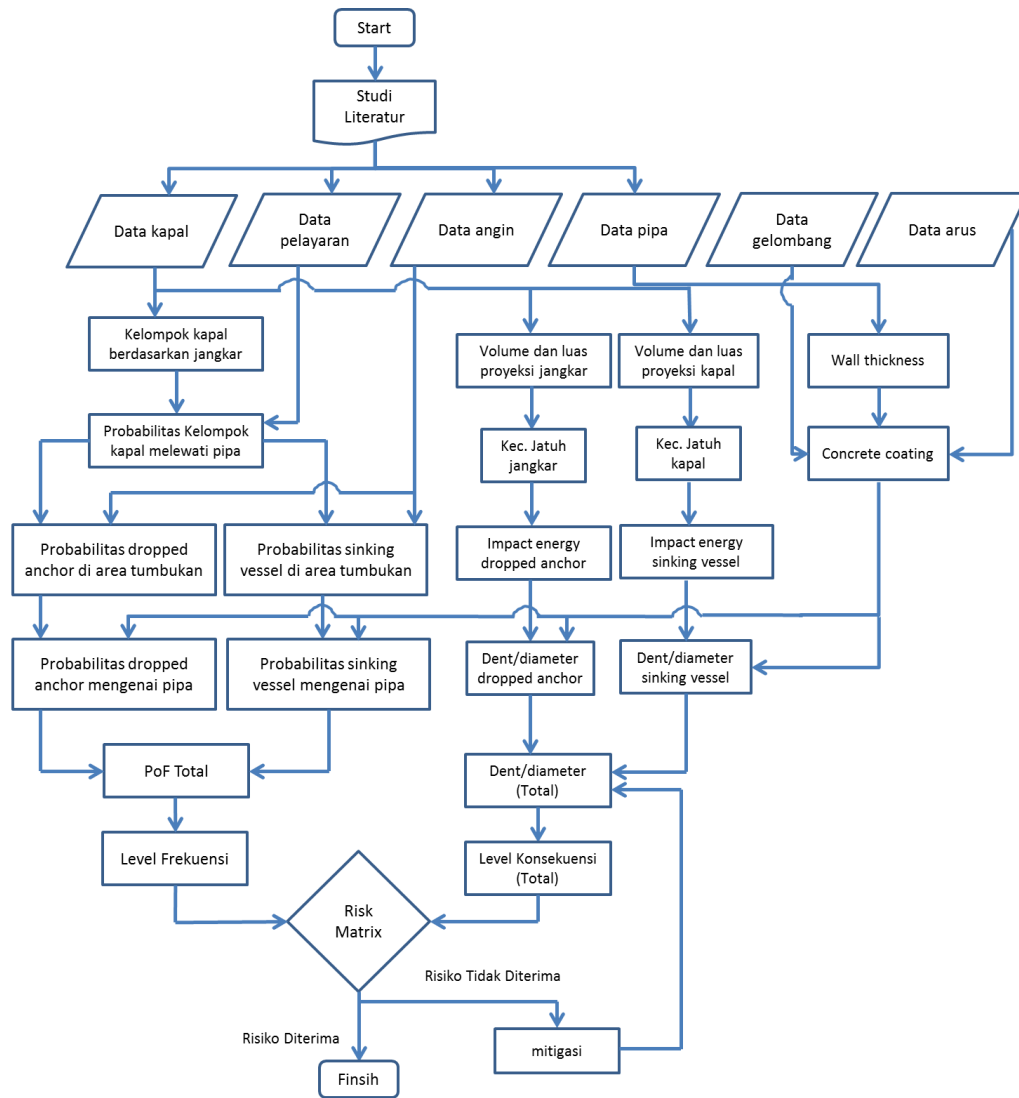
Selama masa layan pipa, terdapat kemungkinan terjadi kegagalan atau kerusakan pada pipa yang diakibatkan oleh beberapa faktor ancaman. Dimulai dari kesalahan pada proses desain, fabrikasi dan instalasi, oleh ancaman korosi, ancaman yang diakibatkan oleh struktur pipa sendiri, ancaman dari alam, serta ancaman akibat pengoperasian yang tidak benar. Selain itu, pipa bawah laut juga memiliki berkemungkinan gagal dikarenakan oleh pihak ketiga yang diakibatkan oleh trawling, jangkar, tumbukkan oleh kapal tenggelam, dll.

Pipa yang dipasang di dasar laut seringkali berada di bawah alur pelayaran kapal. Sehingga terdapat kemungkinan jangkar kapal jatuh (*dropped anchor*) menumbuk pipa dan juga terdapat kemungkinan terjadi kecelakaan yang menyebabkan kapal tenggelam (*sinking vessel*) kemudian mengenai pipa bawah laut. Kedua kemungkinan di atas dapat menyebabkan kerusakan pada pipa bawah laut sehingga diperlukan analisis risiko kerusakan pipa yang diakibatkan *dropped anchor* dan *sinking vessel*.

Pada studi ini akan dibahas mengenai penentuan tingkat risiko pipa bawah laut akibat *dropped anchor* dan *sinking vessel*. Dimana, terlebih dahulu akan dilakukan perhitungan *wall thickness* dan *concrete coating* pipa. Kemudian apabila risiko dari kejadian tersebut masuk ke dalam kategori ALARP atau *Not Acceptable* maka akan dilakukan langkah mitigasi untuk mengurangi tingkat risiko kegagalan. Sehingga, hasil akhir dari penulisan studi ini adalah tingkat risiko pipa bawah laut akibat *dropped anchor* dan *sinking vessel* serta langkah mitigasi yang dilakukan.

TEORI DAN METODOLOGI

Metodologi Studi ini ditunjukkan oleh **Gambar 1** sebagai berikut:



Gambar 1 Metodologi Studi

Dimana, langkah-langkah dalam studi ini adalah:

1. Desain *wall thickness* pipa dengan menggunakan standar Det Norske Veritas – Rules for Pipeline (DNV 1981) Tahun 2010 dengan kriteria desain yang harus dipenuhi sebagai berikut:
 - Tekanan internal
 - *Local buckling*

- *Propagational buckling*
- Desain kestabilan pipa bawah laut dengan menggunakan *Recommended Practice RPE305 – On Bottom Stability Design of Submarine Pipeline* Tahun 1988 pada kedalaman minimum dan kedalaman maksimum perairan untuk kondisi sebagai berikut:
 - Instalasi
 - *Hydrotest*
 - Operasi
 - Menghitung Probabilitas total akibat *dropped anchor* dan *sinking vessel* dengan menggunakan persamaan 1 sebagai berikut:

$$P_{total} = P_{da\ hit} + P_{sv\ hit} - (P_{da\ hit} \times P_{sv\ hit}) \quad \textbf{(Persamaan 1)}$$

$P_{da\ hit\ total}$ = probabilitas total *dropped anchor* mengenai pipa

$P_{sv\ hit\ total}$ = probabilitas total *sinking vessel* mengenai pipa

- Menghitung konsekuensi pipa akibat *dropped anchor* dan *sinking vessel* berupa dent (ditunjukkan oleh Gambar 2) dengan menggunakan persamaan 2 yang tertera pada Det Norske Veritas - *Risk Assessment For Pipeline Protection* (DNV RP F-107) Tahun 2011, Halaman 14 sebagai berikut:

$$\delta = \left(\frac{E}{16 \cdot m_p \cdot D^{3/2}} \left(\frac{9 \cdot t}{2\pi} \right)^{1/2} \right)^{2/3} \cdot D \quad \textbf{(Persamaan 2)}$$

Dimana:

δ = deformasi pipa, kedalaman dent (mm)

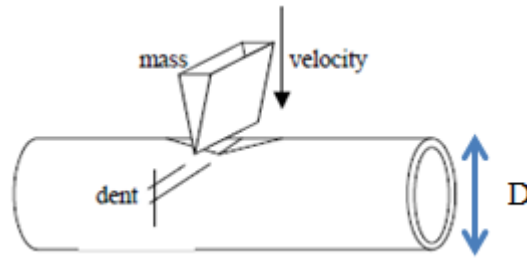
m_p = kapasitas momen plastic dari dinding pipa = $\frac{\sigma_y}{4} t^2$

σ_y = *yield stress* (MPa)

D = diameter luar pipa (mm)

t = tebal pipa (mm)

E = energi yang dapat ditahan pipa (*Joule*)



Gambar 2 Dent pada Pipa

5. Menghitung lapisan beton untuk melindungi pipa dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 3 dan persamaan 4 yang tertera pada Det Norske Veritas - *Risk Assessment For Pipeline Protection* (DNV RP F-107) Tahun 2011, Halaman 16 sebagai berikut:

$$E_k = Y \cdot b \cdot L \cdot x_0 \quad \textbf{(Persamaan 3)}$$

$$E_k = Y \cdot L \cdot \frac{4}{3} \sqrt{D \cdot x_0^3} \quad \textbf{(Persamaan 4)}$$

Dimana:

E_k = energi yang diserap oleh lapisan beton (*Joule*)

Y = kekuatan penghancur jangkar (*Pa*)

b = lebar benda (*m*)

L = panjang benda (*m*)

D = diameter *pipeline* (*m*)

x_0 = tebal lapisan beton (*m*)

6. Menghitung tinggi timbunan untuk melindungi pipa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 5 yang tertera pada Det Norske Veritas - *Risk Assessment For Pipeline Protection* (DNV RP F-107) Tahun 2011, Halaman 17 sebagai berikut:

$$E_p = \frac{2}{3} \cdot \gamma' \cdot L \cdot N_\gamma \cdot z^3 \quad \textbf{(Persamaan 5)}$$

Dimana:

γ' = berat jenis efektif dari material pengisi = 11 kN/m³

z = kedalaman penetrasi tumbukan (m)

N_γ = koefisien kapasitas bearing = 137

L = panjang benda (m)

HASIL DAN ANALISIS

Dari pengerjaan tugas akhir ini didapatkan hasil perhitungan dan analisis sebagai berikut:

1. Dari hasil desain *wall thickness* pipa diperoleh, *wall thickness* pipa yang memenuhi kriteria desain DNV 1981 dan *wall thickness* yang dipilih sebesar 15.875 mm ditunjukkan oleh Tabel 1 dan Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 1 Hasil Perhitungan Wall Thickness dengan DNV 1981

Kriteria	Kondisi	$d_{min} = 14.8 \text{ m}$		$d_{max} = 21.8 \text{ m}$	
		t (in)	t (mm)	t (in)	t (mm)
Tekanan Internal	Instalasi	-	-	-	-
	Hydrotest	0.45	11.35	0.44	11.27
	Operasi	0.415	10.54	0.412	10.46
Local Buckling	Instalasi	0.4	10.2	0.425	10.8
	Hydrotest	-	-	-	-
	Operasi	-	-	-	-
Propagation Buckling	Instalasi	0.29	7.4	0.35	8.99
	Hydrotest	-	-	-	-
	Operasi	-	-	-	-

Tabel 2 Wall Thickness yang Dipilih

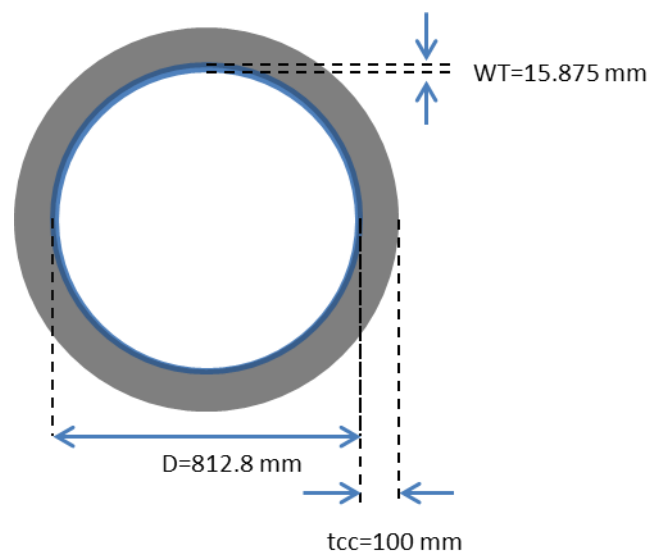
Wall thickness yang dipilih	0.45	In	11.35	mm
Wall thickness + CA + SF	0.58	In	14.78	mm
Wall thickness API 5L	0.625	In	15.875	mm

2. Dari analisis *on bottom stability* dengan menggunakan standar DNV E305, diperoleh kebutuhan *concrete coating* pipa sebesar 100 mm untuk semua kondisi dan kedalaman pipa yang ditunjukkan oleh Tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3 Hasil On Bottom Stability dengan Standar DNV E305

Kedalaman (m):	14.8		21.8	
kondisi	instalasi	Operasi	Instalasi	operasi
t_{cc} (mm)	100	100	100	100

Sketsa *wall thickness* pipa, dan *concrete coating* ditunjukkan oleh Gambar 3 sebagai berikut:



Gambar 3 Sketsa Studi Pipa

3. Probabilitas total akibat *dropped anchor* dan *sinking vessel* sebesar 1.24×10^{-17} dimana kedua kejadian bersifat independen (suatu hubungan dari satu kejadian dengan kejadian lainnya tidak saling mempengaruhi sehingga ada kemungkinan dua kejadian tersebut terjadi bersamaan dalam satu zona studi pipa) dan berada pada level frekuensi 1 DNV RP F-107.
4. Konsekuensi total akibat *dropped anchor* dan *sinking vessel* ($\frac{\delta}{D}$) lebih dari 100% dimana konsekuensi total merupakan kondisi terbesar yang dapat dihasilkan oleh kedua kejadian tersebut dimana kondisi yang dapat terjadi adalah *rupture* dan berada pada level konsekuensi 5 DNV RP F-107.
5. *Risk Matrix* kegagalan pipa akibat *dropped anchor* dan *sinking vessel* ditunjukkan oleh Gambar 4 sebagai berikut:

			Level of Consequence				
			1	2	3	4	5
			<5%	5-10%	10-15%	15-20%	>20%
Level of Probability	5	$>10^{-2}$					
	4	$10^{-2}-10^{-3}$					
	3	$10^{-3}-10^{-4}$					
	2	$10^{-4}-10^{-5}$					
	1	$<10^{-5}$					

Gambar 4 Risk Matrix Hasil Studi

Dimana, dari Gambar 4 diatas ditunjukkan bahwa tingkat risiko kegagalan pipa akibat *dropped anchor* dan *sinking vessel* berada pada daerah ALARP, sehingga diperlukan perhitungan terhadap mitigasi yang dapat dilakukan.

- Perhitungan mitigasi dengan penambahan lapisan beton diperoleh bahwa dibutuhkan *concrete coating* sebesar 0.0436 m.
- Hasil perhitungan ketinggian penimbunan pipa diperoleh tinggi timbunan sebesar 12.8 m
- Dari kedua langkah mitigasi yang telah disebutkan, *concrete coating* yang dibutuhkan sudah terpenuhi oleh *concrete coating* pipa hasil *on bottom stability* sehingga tidak diperlukan penambahan lapisan *concrete coating* berupa selimut beton. Sedangkan, untuk menimbun pipa tidak mungkin untuk dilakukan dikarenakan ketinggian timbunan mendekati kedalaman minimum pipa.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pembahasan tugas akhir ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Berdasarkan DNV 1981 diperoleh *wall thickness* pipa sebesar 15.875 mm.
- Pipa memerlukan *concrete coating* sebesar 100 mm untuk menjaga kestabilan pipa di dasar laut sesuai dengan perhitungan berdasarkan DNV E305.

3. Probabilitas total akibat *dropped anchor* dan *sinking vessel* sebesar 1.24×10^{-7} dan berada pada level frekuensi 1 DNV RP F-107.
4. Konsekuensi total akibat *dropped anchor* dan *sinking vessel* $\left(\frac{\delta}{D}\right)$ lebih dari 100% (kondisi *rupture*) dan berada pada level konsekuensi 5 DNV RP F-107.
5. Tingkat risiko akibat *dropped anchor* dan *sinking vessel* berada pada daerah ALARP, sehingga diperlukan perhitungan terhadap mitigasi.
6. Dari hasil perhitungan mitigasi, mitigasi yang akan dilakukan adalah perlindungan pipa dengan *concrete coating* sebesar (0.043m), namun karena *concrete coating* hasil perhitungan *on bottom stability* (0.1 m) telah memenuhi *concrete coating* yang dibutuhkan untuk melindungi pipa maka tidak diperlukan mitigasi.

Berikut adalah saran yang dapat diberikan setelah melakukan tugas akhir ini agar lebih baik lagi:

1. Data kapal dan pelayaran yang digunakan untuk diperbarui dan dicari data kapal dan pelayaran spesifik untuk kapal yang melewati pipa zona 17.
2. Analisis distribusi kecepatan angin dapat dicoba dengan menggunakan distribusi-distribusi lainnya seperti beta, gamma, dan lain-lain, tidak hanya distribusi normal, log normal, Rayleigh, dan weibull.
3. Besarnya dent pada pipa untuk dilakukan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak, tidak hanya dari perhitungan dengan berdasarkan DNV RP F-107.

DAFTAR PUSTAKA

1. Det Norske Veritas - *Risk Assessment For Pipeline Protection* (DNV RP F-107) 2011
2. Det Norske Veritas – *Rules for Pipeline* (DNV 1981). 2010
3. *Recommended Practice RPE305 – On Bottom Stability Design of Submarine Pipeline*.1988