

ANALISIS KERUSAKAN PIPA BAWAH LAUT AKIBAT TARIKAN JANGKAR KAPAL

ARDYANSYAH DARMADAPUTRA

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KELAUTAN, FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN

INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG TAHUN 2016

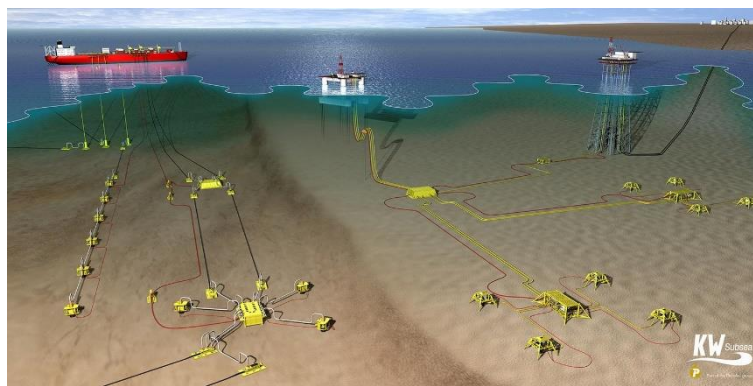
ardyansyah.darmasaputra@yahoo.com

Kata kunci: *pipeline, anchor, impact load, pull over load*

PENDAHULUAN

Pipa bawah laut (*pipeline*) merupakan infrastruktur yang digunakan untuk mengalirkan minyak dan gas bumi antar anjungan lepas pantai, *subsea wellhead*, *manifold*, fasilitas di darat, dan fasilitas penunjang lainnya. Idealnya, pipa tidak disarankan untuk berada di daerah pelayaran kapal, namun seringkali hal tersebut tidak dapat dihindarkan.

Dengan begitu, pipa bawah laut memiliki resiko tambahan, salah satunya resiko tarikan jangkar (*dragged anchor*). Jika dilihat pada gambar 1, dapat disimpulkan juga bahwa resiko pipa-pipa tersebut terkena tarikan jangkar cukup besar jika ada kapal yang menurunkan jangkarnya. Oleh karena itu, diperlukan analisis tambahan untuk menjamin bahwa pipa bawah laut dapat bertahan dalam menghadapi resiko tersebut.



Gambar 1 Ilustrasi jalur pipa bawah laut yang cukup rumit di suatu wilayah perairan

Penelitian kali ini dilakukan untuk menganalisis kerusakan yang terjadi pada pipa bawah laut akibat gaya *impact* dan *pull over* jangkar dengan menggunakan standar DNV RP F111 dan perangkat lunak ANSYS dan kriteria kerusakan pada pipa tersebut. Untuk *impact load*, aspek yang ditinjau untuk

menganalisis kerusakan pipa yaitu tingkat kerusakan concrete coating akibat tumbukan jangkar, tegangan yang terjadi pada pipa, serta besarnya *dent* yang terjadi pada pipa.

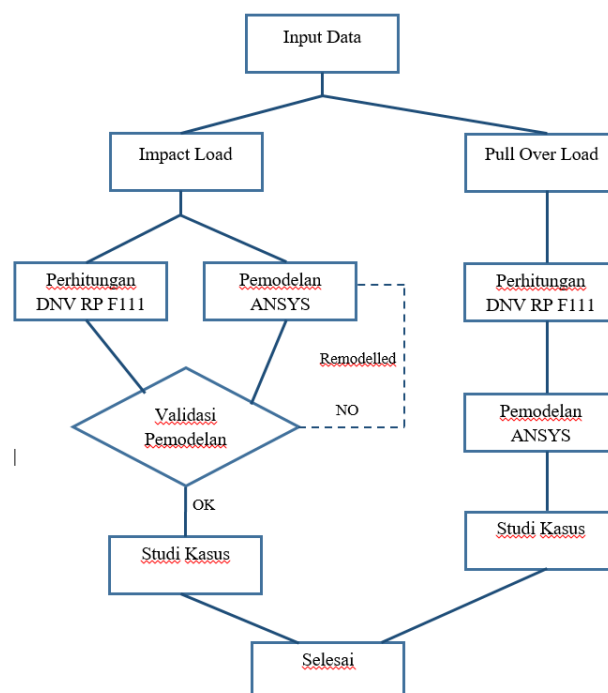
Sementara untuk *pull over load*, aspek yang ditinjau untuk menganalisis kerusakan pipa yaitu tegangan yang terjadi pada pipa serta defleksi yang terjadi pada pipa akibat gaya tersebut. Jika pipa mengalami kegagalan, maka diberikan rekomendasi untuk mengatasi kegagalan tersebut. Dengan begitu, pipa akan aman dari resiko tarikan jangkar.

Lingkup pembahasan untuk Tugas Akhir ini membahas tentang analisis *impact load* dan *pull over load* yang terjadi pada pipa bawah laut akibat tarikan jangkar dengan standar perhitungan DNV RP F111 – *Interference between Trawl Gear and Pipelines* (2010) serta menggunakan bantuan perangkat lunak ANSYS.

Selain itu, hasil perhitungan DNV RP F111 dan pemodelan ANSYS untuk analisis *impact load* dibandingkan untuk mengetahui apakah hasil yang didapat pemodelan ANSYS mendekati hasil perhitungan DNV RP F111.

TEORI DAN METODOLOGI

Metode penelitian yang dilakukan untuk seminar Tugas Akhir ini dapat dilihat pada diagram alir di bawah.



Gambar 2 Diagram alir metodologi pengerjaan Tugas Akhir

Adapun data-data untuk penelitian ini yaitu:

Tabel 1: Data tanah di sekitar pipa

Parameter	Units	Value
Soil Type		Very Soft Clay
Undrained Shear Strength	kPa	2 - 6
Angle Friction	deg	0
Submerged Weight	kg/m ³	815.7

Tabel 2: Data spesifikasi pipa

General		
Water Depth (below CD)	Minimum	Maximum
	22.82 m	26.52 m
Pipeline Detail		
OD	323.9 mm	
Wall Thickness	12.7 mm	
Overall Length	5934 m	
Coefficient of Thermal Expansion	1.1 x 10 ⁻⁵ /°C	
Structural Damping Coefficient	0.26	
Corrosion Allowance	3 mm	
Corrosion Coating		
Type	Asphalt Enamel	
Thickness	4 mm	
Density	1281.5 kg/m ³	
Cutback Length (mm)	150 mm	
Concrete Weight Coating		
Thickness	38 mm	
Density	3044 kg/m ³	
Cutback Length (mm)	300 ± 10 mm	
Pipeline Material		
Grade	Carbon Steel API 5L X52	
SMYS	360 MPa (52.2 Ksi)	
SMTS	460 MPa (66.7 Ksi)	
Young Modulus	207 000 MPa (30022.9 Ksi)	
Poisson's Ratio	0.3	
Density	7850 kg/m ³	
Design		
Design Pressure	1600 psi	
Hydrotest Pressure	2000 psi	
Operating Pressure	142 psi	
Mechanical Design Temperature	200 °F	
Operating Temperature	112 °F	
Total Pipe Weight		
Dry, Empty in Air	234.785 kg/m	
Submerged Empty	100.874 kg/m	
Submerged Flooded	166.624 kg/m	
Field Joint Coating Material		
Corrosion Coating	Heat Shrinkable Sleeve	
Foam Infill	High Density Polyurethane Foam	

Tabel 3: Data spesifikasi kapal

dwt (t)	M _D (t)	L _{OA} (m)	L _{BP} (m)	B (m)	D (m)	F (m)	C _B ---
60,000	83,000	290	275	32.2	13.2	8.6	0.693
55,000	75,500	278	264	32.2	12.8	8.1	0.677
50,000	68,000	267	253	32.2	12.5	7.8	0.651
45,000	61,000	255	242	32.2	12.2	7.3	0.620
40,000	54,000	237	225	32.2	11.7	6.9	0.622
35,000	47,500	222	211	32.2	11.1	6.3	0.614
30,000	40,500	210	200	30.0	10.7	5.9	0.615
25,000	33,500	195	185	28.5	10.1	5.3	0.614
20,000	27,000	174	165	26.2	9.2	4.4	0.662
15,000	20,000	152	144	23.7	8.5	3.8	0.673
10,000	13,500	130	124	21.2	7.3	2.7	0.686

Pada penelitian ini, kapal yang telah menurunkan jangkar masih bergerak dengan kecepatan 1 knot (0.514 m/s) dan 3 knot (1.543 m/s). Selain itu, pipa juga diasumsikan tergelar di dasar laut dengan kondisi tanpa adanya *free span*. Jangkar yang ditarik kapal juga diasumsikan menumbuk pipa dengan arah tegak lurus pipa.

Sesuai dengan data yang diperoleh, pipa digelar dengan kondisi tidak terkubur (*unburied*), sehingga keseluruhan pipa memiliki resiko terkena tumbukan jangkar. Rata-rata jumlah jangkar yang diturunkan dari kapal di wilayah sekitar pipa diasumsikan $0.4 \text{ per } 10^3 \text{ km}^2$.

Skenario kejadian yang dianalisis pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

Skenario 1: *Impact Load*

- Jangkar diturunkan dari kapal dan mendarat di dasar laut dekat dengan pipa bawah laut yang ditinjau
- Jangkar akan tertarik kapal ke arah tegak lurus pipa dengan kecepatan tertentu sampai jangkar mencengkeram ke dasar laut
- Sebelum jangkar menancap ke tanah, jangkar akan menumbuk pipa terlebih dahulu

Skenario 2: *Pull Over Load*

- Jangkar yang telah menumbuk pipa akan tetap tertarik kapal sampai pada jarak tertentu
- Tarikan jangkar pada pipa akan berhenti sesuai dengan durasi tarikan jangkar

HASIL DAN ANALISIS

Berdasarkan data kapal yang dipilih, didapatkan massa jangkar berdasarkan tabel *ABS Rules for Building and Clasing Steel Vessels* (2016), yaitu:

Tabel 4: Tabel nomor jangkar

Equipment Numeral	Equipment Number*	Stockless Bower Anchors		Length, m	Chain Cable Stud Link Bower Chain		
		Number	Mass per Anchor, kg		Diameter		
					Normal-Strength Steel (Grade 1), mm	High-Strength Steel (Grade 2), mm	Extra High-Strength Steel (Grade 3), mm
U36	2380	3	7350	605	87	76	66
U37	2530	3	7800	632.5	90	78	68
U38	2700	3	8300	632.5	92	81	70
U39	2870	3	8700	632.5	95	84	73
U40	3040	3	9300	660	97	84	76

Dimensi jangkar dengan massa 8700 kg dapat dilihat pada tabel 5 di bawah.

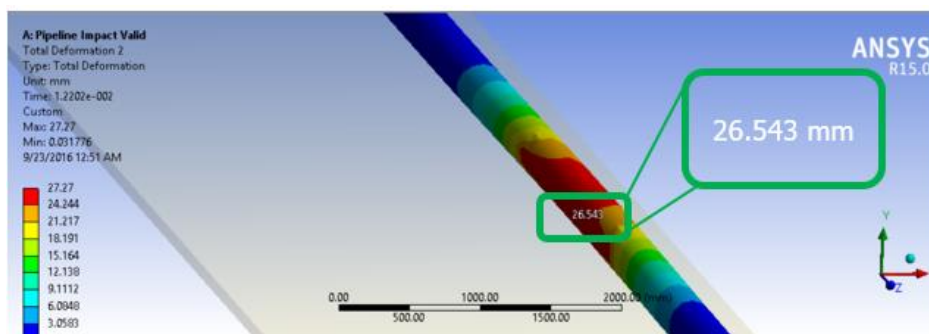
Tabel 5: Tabel nomor jangkar

Massa Jangkar (kg)	Anchor Breadth, B (mm)	Anchor Width, E (mm)	A (mm ²)
8700	2370	1020	2417400

Sebelum dilakukan penelitian untuk kasus ini, dilakukan pengecekan pemodelan ANSYS terlebih dahulu. Pada tahap ini, digunakan kecepatan kapal 11 knot, sehingga masih ada sebagian energi tumbukan yang diserap pipa baja. Berdasarkan perhitungan DNV RP F111, *dent* yang terjadi pada pipa yaitu 29 mm. Sedangkan rasio kedalaman *dent* terhadap diameter luar $H_{p,c}/D$ yaitu:

$$\frac{H_{p,c}}{D} = \frac{29 \text{ mm}}{323.9 \text{ mm}} = 8.95\%$$

Sedangkan untuk pemodelan ANSYS, didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 3 dent pada pipa akibat impact load jangkar dengan kecepatan 11 knot

Berdasarkan gambar 3, dapat diketahui bahwa kedalaman *dent* yang terjadi yaitu 26.543 mm. Sehingga, rasio kedalaman *dent* terhadap diameter luar pipa adalah:

$$\frac{H_{p,c}}{D} = \frac{26.543 \text{ mm}}{323.9 \text{ mm}} = 8.195\%$$

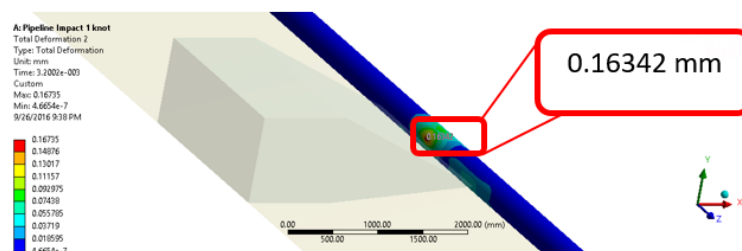
Berdasarkan perhitungan DNV RP F111, diketahui bahwa *dent* pada pipa yaitu 29 mm. Dengan *dent* hasil pemodelan yaitu 26.543 mm, maka dapat disimpulkan bahwa hasil yang didapat dari kedua metode tersebut tidak jauh berbeda, dengan perbedaan sekitar 8.47%.

Analisis *impact load* jangkar pada pipa berdasarkan DNV RP F111 memperhitungkan energi tumbukan akibat jangkar yang menghasilkan *dent*. Berdasarkan DNV RP F107, sebagian energi tumbukan juga dapat diserap oleh *concrete coating*. Dengan begitu, hanya sebagian energi tumbukan jangkar yang akan diserap pipa baja dan menghasilkan *dent* pada pipa. *Dent* pada pipa hasil perhitungan DNV RP F111 dapat dilihat pada tabel 6.

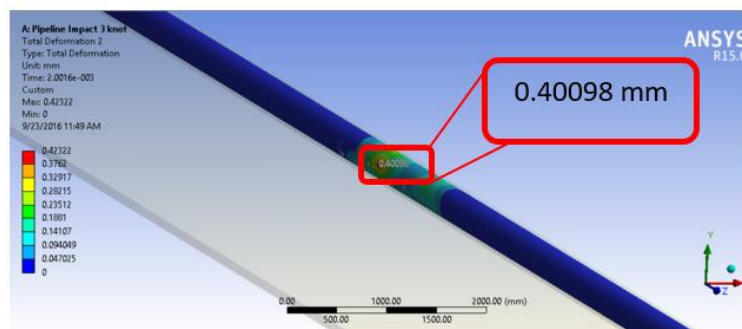
Tabel 6: *Dent* pada pipa akibat impact load jangkar

Kecepatan kapal (V)	1 knot (0.514 m/s)	3 knot (1.543 m/s)
$H_{p,c}$	0 mm	0 mm
$H_{p,c}/D$	0 %	0 %

Sedangkan *dent* pada pipa hasil pemodelan ANSYS didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 4 *dent* pada pipa akibat impact load jangkar dengan kecepatan 1 knot



Gambar 5 *dent* pada pipa akibat impact load jangkar dengan kecepatan 3 knot

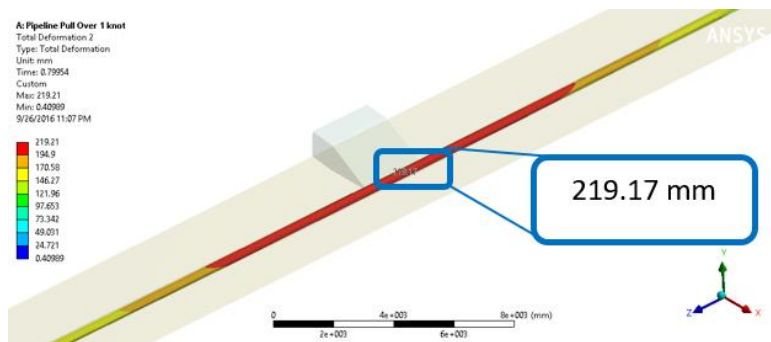
Diketahui *frequency class* di wilayah sekitar pipa yaitu *Medium class* dengan nilai $H_{p,c}/D$ yang diizinkan 1.5 %. Pada kasus ini, nilai $H_{p,c}/D$ yang dihasilkan untuk kecepatan 1 dan 3 knot masih di bawah 1.5 %. Sehingga, pipa masih memenuhi kriteria desain yang ditetapkan dan dapat dianggap aman.

Sedangkan analisis *pull over* jangkar berdasarkan DNV RP F111 menghasilkan gaya maksimum arah horizontal ($F_{p maks}$) dan vertical ($F_{s maks}$) sesuai tabel 7 di bawah, dengan durasi tarikan jangkar 0.505 detik.

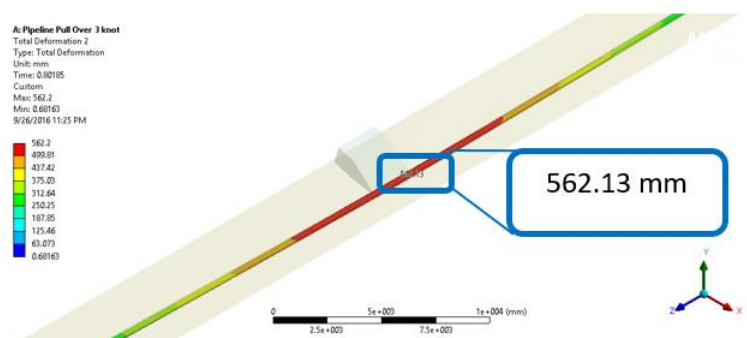
Tabel 7: Gaya pull over jangkar

Kecepatan kapal (V)	1 knot (0.514 m/s)	3 knot (1.543 m/s)
$F_{p maks}$	$5.714 \times 10^4 \text{ N}$	$1.715 \times 10^5 \text{ N}$
$F_{s maks}$	$3.207 \times 10^4 \text{ N}$	$9.626 \times 10^4 \text{ N}$

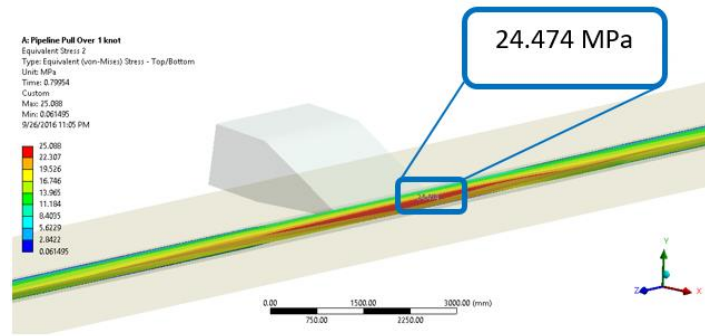
Dengan pemodelan ANSYS, didapatkan defleksi dan tegangan pipa akibat gaya tersebut, yaitu:



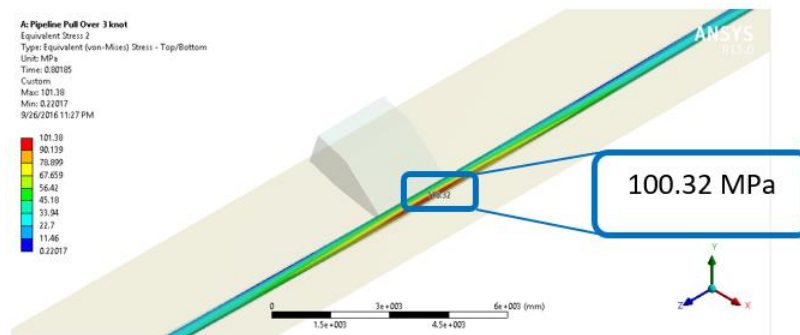
Gambar 6 defleksi pada pipa akibat pull over load jangkar dengan kecepatan 1 knot



Gambar 7 defleksi pada pipa akibat pull over load jangkar dengan kecepatan 3 knot



Gambar 8 tegangan pada pipa akibat pull over load jangkar dengan kecepatan 1 knot



Gambar 9 tegangan pada pipa akibat pull over load jangkar dengan kecepatan 3 knot

Berdasarkan gambar 6 sampai 9, dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan jangkar saat menarik pipa, semakin besar gaya yang bekerja pada pipa. Sehingga, defleksi dan tegangan yang terjadi pada pipa juga semakin besar.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Pada tahap validasi, asumsi-asumsi yang digunakan pada DNV RP F111 untuk menghasilkan persamaan empiris diaplikasikan pada pemodelan ANSYS. Dengan begitu, hasil yang didapat dari pemodelan ANSYS mendekati hasil perhitungan DNV RP F111.
- Berdasarkan perhitungan, diketahui bahwa *dent* pada pipa yaitu 29 mm. Dengan *dent* hasil pemodelan ANSYS yaitu 26.543 mm, maka dapat disimpulkan bahwa hasil yang didapat dari kedua metode tersebut tidak jauh berbeda.
- Perbedaan yang terjadi antara *dent* hasil perhitungan DNV RP F111 dan pemodelan ANSYS yaitu 8.47 %.

- Pada studi kasus Tugas Akhir ini, *frequency class* di wilayah sekitar pipa yang ditinjau yaitu *Medium class* dengan rasio kedalaman *dent* terhadap diameter luar pipa $H_{p,c}/D$ yang diizinkan yaitu 1.5 %.
- Pada kasus ini, nilai $H_{p,c}/D$ yang dihasilkan untuk kecepatan 1 dan 3 knot masih di bawah nilai yang diizinkan. Sehingga, untuk kasus ini, pipa telah memenuhi kriteria desain yang ditetapkan.
- Perhitungan *impact load* berdasarkan DNV RP F111 memberikan hasil yang lebih konservatif daripada pemodelan Ansys. Hal ini besar kemungkinan dipengaruhi oleh *safety factor* yang diberlakukan pada DNV RP F111.
- Semakin besar kecepatan kapal, maka semakin besar gaya *pull over* jangkar terhadap pipa. Hal ini menyebabkan defleksi dan tegangan yang terjadi pada pipa juga semakin besar.
- Tegangan maksimum yang terjadi pada pipa akibat gaya *pull over* jangkar dengan kecepatan 1 knot yaitu 24.474 MPa. Sedangkan untuk kecepatan 3 knot yaitu 100.32 MPa. Tegangan yang dihasilkan masih berada di bawah tegangan izin, sehingga pipa dapat dikatakan aman.
- Pada Tugas Akhir ini, pipa yang terkena *impact* dan *pull over load* masih dalam memenuhi kriteria desain yang ditetapkan. Sehingga, pipa tidak perlu diberikan perlakuan tambahan untuk melindungi pipa bawah laut.

SARAN

Berikut ini saran yang diusulkan untuk penelitian selanjutnya:

- Perhitungan dan pemodelan gaya tarikan jangkar terhadap pipa bawah laut dapat menambahkan fase *hooking*, sehingga hasil yang didapat lebih akurat.
- Pemodelan pada Ansys dapat dilakukan dengan menambahkan beban operasional pada pipa, seperti tekanan fluida, dan sebagainya. Pemodelan beban operasional pipa dapat menghasilkan analisis tarikan jangkar yang lebih akurat.
- Disarankan menggunakan computer dengan spesifikasi cukup tinggi untuk menjalankan software Ansys. Sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan solusi yang diinginkan lebih sedikit.

DAFTAR PUSTAKA

American Bureau of Shipping Rules for Building and Clasing Steel Vessels (2016), Part 3 – Hull

Construction and Equipment, Houston

Det Norske Veritas (DNV). 2010. “*RP F111: Interference Between Trawl Gear and Pipelines*”.

Veritas, Oslo

Det Norske Veritas (DNV). 2010. “*RP F107: Risk Assessment of Pipeline Protection*”. Veritas,

Oslo